Stanford University Library
DEC
16
1901

THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

DER

MASSAGEWIRKUNG

AUF DEN

SCHALLLEITUNGSAPPARAT.

HABILITATIONSSCHRIFT

ZUR

ERLANGUNG DER VENIA LEGENDI

EINER

HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT ZU HEIDELBERG

VORGELEGT VON

Dr. JULIUS HEGENER.

WIESBADEN.
VERLAG VON J. F. BERGMANN.
1901.

Verlag von J. F. Bergmann, Wiesbaden.

Soeben erschien:

Krankhafte Veränderungen

der

Form und Stellung der Ohrmuschel.

20 stereoscopische Bilder

von

Dr. J. Hegener,

1. Assistent der Universitäts-Ohrenklinik zu Heidelberg.

In Carton. Preis Mk. 7.50.

Inhalts-Verzeichniss.

1. Auricularanhänge. — 2. Katzenohr. — 3. Cyste in der Fossa triangularis. — 4. Othaematom. — 5. Perichondritis. — 6. Abgelaufene Perichondritis mit Schrumpfung. — 7. Abgelaufene Perichondritis ohne Schrumpfung. — 8. Phlegmone des Lobulus. — 9. Erfrierung der Ohrmuschel. — 10. Tuberculose der Ohrmuschel. — 11. Tuberculöser Tumor des Ohrläppchens. — 12. Lupusnarben der Ohrmuschel und des Gesichts. — 13. Gestieltes Fibroepitheliom an der Hinterfläche der Ohrmuschel. — 14. Carcinom der Ohrmuschel. — 15. Carcinom des Lobulus (von der Seite). — 16. Carcinom des Lobulus (von hinten). — 17. Muschelstellung bei subperiostalem Abscess. Gesichtsödem. — 18. Muschelstellung bei subperiostalem Abscess (von hinten). — 19. Muschelstellung bei subperiostalem Abscess (von vorne). — 20. Carcinom der Ohrmuschel, Parotismetastase.

Die in vorliegendem Atlas enthaltenen stereoscopischen Bilder haben sich seit einiger Zeit beim klinischen Unterricht in der Heidelberger Universitäts-Ohrenklinik gut bewährt. Da selbst bei einem grösseren Krankenmaterial oft längere Zeit hindurch die eine oder andere seltenere Krankheitsform nicht zur Beobachtung kommt, so werden diese Bilder auch anderweitig willkommen sein. Dem Nichtspecialisten dürften sie bei der Stellung der Diagnose manchmal gute Dienste leisten. Die besonders gute plastische Bildwirkung beruht zum grossen Theil bei diesem Atlas auf der vorzüglichen Wiedergabe der feinsten Details, die durch Anwendung eines noch selten gebrauchten Reproductionsverfahrens, des Rotationsbromsilberdruckes, erzielt wurde. Es ist dem sonst meist benutzten Lichtdruck oder dem Albuminprocess bedeutend überlegen. Der knapp gehaltene, nur das Nothwendigste der Krankheitsgeschichte und die Erklärung der Bilder bringende Text ist bei jedem Blatt auf die Rückseite aufgedruckt.

THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

DER

MASSAGEWIRKUNG

AUF DEN

SCHALLLEITUNGSAPPARAT.

HABILITATIONSSCHRIFT

ZUR

ERLANGUNG DER VENIA LEGENDI

EINER

HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

RUPRECHT-KARLS-UNIVERSITÄT ZU HEIDELBERG

VORGELEGT VON

DR. JULIUS HEGENER.

WIESBADEN.
VERLAG VON J. F. BERGMANN.
1901.

Das Recht der Uebersetzung bleibt vorbehalten.

Druck von Carl Ritter in Wiesbaden.

SEINEM VEREHRTEN CHEF

HERRN PROFESSOR DR. A. PASSOW

IN DANKBARKEIT GEWIDMET.

Ostmann hat das Verdienst durch seine Untersuchungen[1]) als erster eine auf systematische Versuche aufgebaute Kritik der Bewegung der Gehörknöchelchen bei der Massage geliefert zu haben. Auch hat er durch das Thierexperiment die Möglichkeit einer Schädigung des Gehörorganes durch die Anwendung übertrieben hoher Bewegungskräfte bewiesen.

Die von Ostmann erreichten Resultate, seine Versuchsanordnung schienen so einwandsfrei, dass er fast unumwundene Zustimmung fand. Broich[2]) äusserte seine Ansicht dahin, dass Ostmann in den oben erwähnten Arbeiten »die differentielle mechanisch-dynamische Wirkungsart und Grösse am physiologischen Objecte« klargestellt habe. Ebenso hat Noltenius[3]) im Allgemeinen Nichts gegen Ostmann's Versuche und die Schlüsse, die er daraus zog, einzuwenden. Er findet nur, im Gegensatze zu Ostmann, dass eine geringfügige Nebenöffnung die massirende Wirkung der Luftwellen nicht aufhebe. In letzter Zeit liefert nun Lucae[4]), der auf diesen Punkt ebenfalls schon hingewiesen, den direkten Beweis, dass die Bewegung des Trommelfells und der Kette thatsächlich auch bei nicht vollkommen dichtem Abschluss des Zuführungsschlauches erfolgt. Er bediente sich dazu ebenso, wie Ostmann, der Niederschrift der Bewegungen durch eine feine Glassonde auf berusster Fläche.

Vor zwei Jahren nahm ich die hier aufgezeichneten Untersuchungen auf, zunächst veranlasst durch zahlreiche Beobachtungen, die ich an dem poliklinischen Material der Heidelberger Ohrenklinik machte. Es

---

1) A. f. O., Bd. 44, p. 201; Bd. 45, p. 39. Verh. d. deutsch. otolog. Gesellsch. Würzburg 1898, p. 171.

2) Verh. d. deutsch. otolog. Gesellsch. Hamburg 1899, p. 104.

3) Z. f. O., Bd. 36, p. 324.

4) A. f. O., Bd. 51, p. 1 und folgende.

fand sich nämlich, dass, obschon mit demselben Apparat, wie Ostmann ihn benutzte, gearbeitet wurde, ich ohne Schaden viel höhere Druckschwankungen bei intaktem Schallleitungsapparat anwenden konnte, als dies Ostmann physiologisch für zulässig erklärt hatte. Das liess sich eigentlich nur dadurch erklären, dass die Versuchsanordnung Ostmann's keine exakten Resultate geliefert hatte, und dass in Folge dessen die auf diesem unsicheren Fundament aufgebauten theoretischen Schlüsse nicht richtig waren.

Der Gedanke lag nahe, dass ein Theil der Fehler in der Benutzung der Glassonde als Zwischenglied zum Aufschreiben der Bewegung liegen müsse. Hatten doch schon viel früher hervorragende exakte Beobachter, wie Schmiedekam und Hensen, Buck, Helmholtz, Mach und Kessel für ihre fundamentalen Untersuchungen über die Bewegung des Schallleitungsapparates bei Erregung durch Schallwellen von grossen Amplituden die Sonde vollkommen verworfen. Es war daher kaum anzunehmen, dass bei diesen Untersuchungen, wo es sich ebenfalls um schnelle und dabei ausgiebigere Bewegungen der Kette handelt, die Sonde genau das Bewegungsbild der Gehörknöchelchen aufzeichnen konnte. Lucae[1]) bediente sich zwar auch der Sonde, doch findet sich in seiner Arbeit ein Zweifel an der unbedingten Zuverlässigkeit des mit ihrer Hülfe niedergeschriebenen Resultates ausgesprochen. Er vermuthet, dass es sich bei der Sondenaufzeichnung nicht um ganz exacte Wiedergabe der Bewegung des Hammers und Amboss handelt, sondern dass dabei Nachschwingungen des Schreibhebels auftreten, »hervorgebracht durch Lockerung desselben im Hammerambossgelenk resp. in Folge des stärkeren Luftdruckes.«

Schliesslich vermisst man in den Abhandlungen Ostmann's sowohl, wie Lucae's, vollkommen eine genauere Darlegung der Mechanik der Druckschwankungen: Die Factoren, welche die Bewegung erzeugen, sind unbeachtet gelassen, dagegen werden ihre Wirkungen auf den Schallleitungsapparat genau beschrieben. Es gilt das speciell von der Pneumomassage. So kommt es, dass die Untersuchungsresultate von Ostmann und Lucae überhaupt nicht vergleichbar sind, weil Ostmann mit einem Apparat (Hirschmann) arbeitete, dessen Cylinderdurchmesser 22 mm beträgt, Lucae dagegen mit einem solchen von 18 mm Cylinderdurchmesser (Reiniger, Gebbert und Schall). Beide Autoren haben also unter ganz verschiedenen Vorbedingungen experimentirt.

[1]) l. c. p. 5.

Zweck vorliegender Untersuchungen ist es, die Wirkungsweise der die Luftdruckschwankungen erzeugenden Instrumente klarzulegen und dann die Arbeitsleistungen derselben am Schallleitungsapparate, unter Weglassung von Fehlerquellen schaffenden Zwischengliedern, durch direkte Beobachtung und Messung festzustellen. Auch die Wirkung der unmittelbaren Bewegung der Kette durch die Drucksonde wurde auf directem Wege bestimmt.

I. Theoretischer Theil.

Die Bewegung des Schallleitungsapparates durch Luftdruckschwankungen vor dem Trommelfelle.

Die vom äusseren Gehörgang aus auf das Trommelfell wirkenden Luftdruckschwankungen können, abgesehen von starken Schallquellen, durch die verschiedenartigsten Mechanismen hervorgebracht werden. Diese sind je nach Vollkommenheit ihrer Leistungen, was Gleichheit der einzelnen Luftdruckschwankungen und Gleichmässigkeit in Zahl, Höhe und Regulirbarkeit derselben angeht, so zu ordnen.

1. Stufe. Die hierhin gehörigen Methoden genügen in keinem der eben erwähnten Punkte höheren Anforderungen. Es rechnen dazu: die Traguspresse (Hommel), die Massage durch Saugbewegungen mit dem Munde (Kirchner), mit einem Gummiballon (Lucae), mit einer Glasspritze (Vulpius).

2. Stufe. Dazu ist zu rechnen der Masseur du tympan von Delstanche. Hier legt ein in einem Cylinder eingepasster Kolben einen durch verstellbaren Anschlag mechanisch regulirbaren, stets gleich langen Weg zurück. Es ist also die Höhe der Druckschwankungen stets gleichmässig und vorher bestimmbar. Dagegen ist die Zahl und das gleichmässige Entstehen der einzelnen Schwankungen von der Hand des Operateurs abhängig.

3. Stufe. Eine weitere Vervollkommnung wird erzielt durch den Apparat von Wegener[1]). Er bringt die Bewegung des Kolbens in feste Abhängigkeit von der Kreisbewegung einer gleichmässig sich drehenden Kurbel. Damit werden Weg und Geschwindigkeit des die Luftdruckänderung hervorrufenden Kolbens in den verschiedensten Phasen der Bewegung unter sich gleich und vorher bestimmbar. Wegener brachte ausserdem den Kurbelzapfen gegen den Mittelpunkt der Kurbel verschiebbar an. Damit war auch die Höhe des zu erreichenden Druckes

1) A. f. O., Bd. 41, p. 199.

regulirbar gemacht. Dieser Apparat ist für Handbetrieb eingerichtet. Da eine gleichmässige Bewegung für längere Dauer durch die Menschenhand nicht zu erreichen ist, so bildet der Antrieb des Kurbelmechanismus durch Elementarkräfte die letzte Vervollkommnung.

4. Stufe. Die durch Elementarkräfte wie Druckwasser, Elektricität angetriebenen Apparate gehören hierhin. Eine practisch merkbare, wesentliche Verbesserung der Wirkung gegenüber dem Wegener'schen Apparate ist jedoch nicht erreicht, lediglich dem Arzte wird die Handhabung des Verfahrens bequemer gemacht.

Wegen der absoluten Gleichmässigkeit, mit der sich bei der Kurbelbewegung die Erzeugung der Luftdruckschwankungen immer wieder vollzieht, empfiehlt sich die theoretische Betrachtung der durch einen solchen Mechanismus hervorgebrachten Arbeitsleistung als die am leichtesten definirbare.

Theorie des Entstehens der Luftdruckschwankungen.

Tritt der Pneumomassageapparat in Wirksamkeit, so bilden Cylinder bis zur unteren Kolbenfläche, Zuführungsschlauch, dessen Ansatzstück, Siegle'scher Trichter und äusserer Gehörgang bis zum Trommelfell einen einzigen Hohlraum, von dem wir zunächst annehmen wollen, dass er überall vollkommen dicht geschlossen sei. In diesem Hohlraum wird durch die Verschiebnng des Kolbens eine Volumveränderung herbeigeführt. Es ändert sich dann im gesammten Hohlraum der Druck nach dem Gesetze von Boyle-Mariotte: »Bei gleicher Temperatur verhalten sich die Volumina eines Gasquantums verkehrt, wie die Druckkräfte desselben«. Der entstehende Druck ist also durchaus abhängig von dem Verhältniss, in dem Grösse der Volumänderung und Grösse des Gesammthohlraums vor der Volumänderung zu einander stehen. Er wirkt auf alle Wände des Hohlraumes gleichmässig ein. Die starren, wie Kolben, Cylinder, Siegle'scher Trichter und äusserer Gehörgang, widerstehen ihm, die nachgiebigen, wie Zuführungsschlauch und Trommelfell, lassen einen Ausgleich gegen den Druck der äusseren Atmosphäre resp. den Luftdruck in der Paukenhöhle soweit zu, als es ihre elastische Spannung, oder beim Trommelfell auch noch andere Hindernisse gestatten.

Dieses Gesetz gilt für alle Arten der Pneumomassage.

Um die Höhe des entstehenden Druckes berechnen zu können, ist es nöthig, zunächst die Art klarzustellen, wie die Volumänderungen im Hohlraum zu Stande kommen.

Arbeitsleistung des Kolbens.

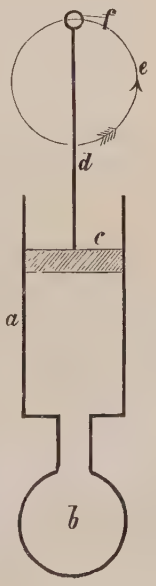
1. Bewegungsform des Kolbens.

Der Kolben ist durch seine Pleuelstange in feste Abhängigkeit von einem sich im Kreise bewegenden Punkte gebracht. Während nun der Punkt gleichmässig schnell in der Zeiteinheit sich weiter bewegt, ist die Bewegung des Kolbens eine ungleichmässige in gerader Linie. Er steht an einem Punkte, wo er am weitesten vom Cylinderboden entfernt ist, den ich den ersten todten Punkt nennen will, momentan still, bewegt sich zunächst langsam, dann immer schneller, bis er seine höchste Geschwindigkeit in dem Augenblicke erreicht, wo der Kurbelzapfen einen Viertelkreis beschrieben hat. Die Geschwindigkeit nimmt dann zunächst schnell, später langsamer ab, bis der Kolben in einer Stellung, wo er dem Boden des Cylinders am nächsten ist, wiederum stillsteht. Ich nenne diesen Punkt den zweiten todten Punkt. Die Stellung des Kurbelzapfens ist dann diametral gegenüber dem ersten Punkte.

So wiederholt sich die Bewegung des Kolbens immer wieder, aus der gleichmässigen Kurbelbewegung wird eine ungleichmässige, in ihrer Geschwindigkeit zu und abnehmende, hin- und hergehende des Kolbens.

2. Einfluss der Anfangsstellung des Kolbens auf die Volumänderung des Gesammthohlraumes.

I. Möglichkeit. Fig. 1.



Es sei a der Cylinder, b der übrige Hohlraum, c der Kolben, d die Kolbenstange, f der Kurbelzapfen, der Kreis e bedeute den Weg, den derselbe durchläuft.

Der Kolben befindet sich hier beim Beginn seiner Bewegung in der Stellung, wo er am weitesten vom Cylinderboden entfernt ist. Der Kurbelzapfen f befindet sich im ersten todten Punkt. Bei der Drehung bewegt sich der Kolben nach dem Cylinderboden hin, das Volumen des Cylinders und damit des Gesammthohlraumes vermindernd. Der Druck nimmt also zu und erreicht sein Maximum, wenn f und c dem Cylinderboden am nächsten stehen, im zweiten todten Punkt. Bei der Weiterbewegung von f nimmt das Volumen des Hohlraumes wieder zu, der Druck ab, bis sich im ersten todten Punkte der ursprüngliche Hohlraum wieder hergestellt hat, und der Druck wieder gleich dem Druck der äusseren Atmosphäre ist. Es ergiebt sich daraus das Gesetz:

Ist die Anfangsstellung des Kolbens eine solche, dass das eingeschlossene unter Atmosphärendruck stehende Luftquantum ein Maximum ist, so ist die Druckschwankung im Hohlraum während der ganzen Dauer der Bewegung positiv.

II. Möglichkeit. Fig. 2.

Umgekehrt ist der Vorgang, wenn f beim Beginn der Bewegung im zweiten toten Punkt steht; es findet dann nur eine negative Schwankung des Druckes im Hohlraum statt.

Fig. 2.

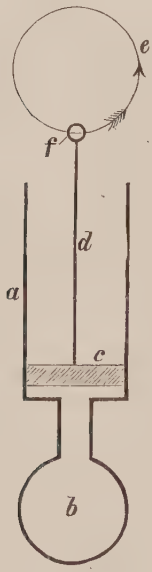
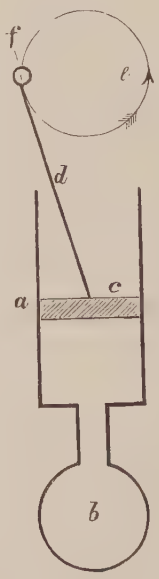


Fig. 3.



III. Möglichkeit. Fig. 3.

Angenommen f befindet sich beim Anfang der Bewegung auf einem Punkte, der zwischen dem ersten und dem zweiten todten Punkte liegt, z. B. in der Mitte zwischen beiden. Bewegt sich nun f nach dem zweiten todten Punkte hin, so wächst der Druck, bis dieser erreicht ist, er nimmt wieder ab bis zum Druck der äusseren Atmosphäre, wenn der f auf der andern Seite gegenüberliegende Punkt erreicht ist. e muss gerade soweit vom zweiten todten Punkte entfernt sein, wie f; er liegt also in unserem Falle f diametral gegenüber. Von da ab wird das Volumen des Hohlraumes vergrössert, der Druck sinkt unter 1 Atmosphäre. Die negative Schwankung erreicht ihr Maximum im ersten todten

Punkte, um beim Ausgangspunkte der Bewegung wieder 1 Atmosphäre zu erreichen. Es findet also bei dieser Anfangsstellung des Kolbens während einer Kurbelumdrehung eine negative und eine positive Druckschwankung im Hohlraume statt. Da die Höhe der Druckschwankung direct abhängig von dem Kolbenweg ist, so ist bei der beispielsweise in der Mitte zwischen dem ersten und zweiten Punkte angenommenen Anfangsstellung des Kolbens der Weg bis zur Erreichung der höchsten Schwankung nur halb so gross, wie bei Möglichkeit I und II, ebenso betragen die verdrängten Luftvolumina und erreichten Drucke nur die Hälfte der bei Möglichkeit I und II erreichbaren Maxima.

Bei andern Anfangsstellungen wird entweder die positive oder die negative Schwankung grösser sein, nie jedoch wird die Höhe der Druckschwankungen von I und II erreicht werden.

3. Einfluss der Undichtigkeit des Hohlraumes auf die Arbeitsleistung des Kolbens.

Bis jetzt ist die Arbeitsleistung des Kolbens erörtert worden unter der Voraussetzung, dass der Hohlraum vollkommen geschlossen sei, dass also weder der Kolben bei seiner Bewegung irgendwie Luft zwischen sich und der Cylinderwand durchtreten lasse, noch dass sonst irgendwelche Undichtigkeiten der Schlauchverbinduug mit dem äussern Gehörgang oder an einer andern Stelle vorhanden seien. In Wirklichkeit dürfte dieser ideale Abschluss nur schwer zu erreichen sein. Es ist daher nothwendig, noch die Entstehung der Druckschwankungen bei nicht vollkommen abgeschlossenem Hohlraum klarzulegen.

Durch eine Oeffnung in demselben wird bei innerer positiver Druckschwankuug die Luft nach aussen abfliessen, bei negativer Druckschwankung strömt die Aussenluft in den Hohlraum.

Das Quantum Luft, welches in einer bestimmten Zeit die Oeffnung passirt, richtet sich nach der Grösse und der Form (Reibung) der Oeffnung, sowie nach der Grösse der herrschenden Druckdifferenz.

Ist die Oeffnung sehr gross und die Kolbengeschwindigkeit gering, so wird kaum eine nachweisbare Druckschwankung im Hohlraum entstehen können.

Ist dagegen die Oeffnung klein und die Kolbengeschwindigkeit gross, wie das bei der practischen Verwerthung des Apparates meist der Fall ist, so ist vor Beendigung des Kolbenweges der Druckausgleich mit der Aussenluft nicht eingetreten, und es kommt trotz Un-

dichtigkeit zu einer mehr oder minder grossen Druckschwankung im Hohlraum.

Es ist nun zu verfolgen, wie sich die Druckschwankungen bei den oben angenommenen verschiedenen Möglichkeiten der Anfangskolbenstellungen gestalten werden.

Am einfachsten lässt sich der Vorgang an einem einfachen Zahlenbeispiel verfolgen.

Nehmen wir Möglichkeit I der Anfangskolbenstellung. Bei dichtem Hohlraum erfolgt nur eine positive Druckschwankung. Es besteht nun eine kleine Nebenöffnung. Der Gesammthohlraum habe ein Volumen von 20 ccm. Der Kolben verdränge auf seinem ganzen Wege 6 ccm. Es sei nun, bis er den 2. todten Punkt erreicht, durch die Nebenöffnung 1 ccm Luft abgeflossen; so beträgt jetzt das Maximum der positiven Schwankung nur $^5/_6$ von dem bei dichtem Apparat erreichten. Der Kolben geht nun wieder zurück, die Luft strömt weiter aus. Bis im Hohlraum der äussere Atmosphärendruck wieder erreicht ist, gehen vielleicht noch weitere 0,5 ccm Luft daraus verloren. Es befinden sich also nun noch 18,5 ccm Luft von 1 Atmosphäre in ihm, der Kolben hat aber erst $^3/_4$ seines Weges zurückgelegt und den Rest bis zum ersten todten Punkt noch vor sich. Es muss daher jetzt eine negative Schwankung entstehen, die Luft strömt von aussen in den Hohlraum. Da jedoch nur noch $^1/_4$ des Kolbenweges zurückzulegen ist bis zum ersten todten Punkt und ausserdem die Druckdifferenz zwischen Aussenluft und Hohlraumdruck nicht so gross wird, wie bei der ersten positiven Phase, so wird die bei der positiven Phase ausgeströmte Luft während der Dauer der negativen Phase nur zu einem Bruchtheil wieder ersetzt.

Bei der nun folgenden neuen positiven Schwankung geht wieder ein Theil der Luft des Hohlraums verloren, der während der negativen Phase wieder nur theilweise ersetzt wird. So geht das Spiel weiter, bis je nach Grösse der Oeffnung in kürzerer oder längerer Zeit bei der positiven Schwankung genau so viel austritt, wie bei der negativen wieder zuströmt. Dasselbe in umgekehrter Reihenfolge tritt ein, wenn die Anfangsstellung der Bewegung im zweiten todten Punkte lag, auch muss der Ausgleich eintreten für jeden Punkt zwischen dem ersten und zweiten todten Punkt.

Es ist also bei irgendwelcher Undichtigkeit des Hohlraums, auch wenn sie noch so klein ist, nicht möglich, einen bestimmten Typus der Druckschwankungen durch bestimmte Anfangsstellung der Kurbel zu

erzielen, vielmehr müssen über kurz oder lang positive und negative Phase gleich werden.

Bei Möglichkeit III der Anfangskolbenstellung ergab sich, dass die erreichte Druckhöhe für beide Phasen nur die Hälfte der bei I und II erreichten positiven oder negativen Druckschwankungshöhe ist.

Ist nun noch ein Verlust von Luft während der Dauer einer Phase vorhanden, so erreicht der Druck für beide Schwankungen auch diese Hälfte nicht. Die erreichbare Höhe richtet sich bei gleicher Grösse der Nebenöffnung nach der Geschwindigkeit der Kolbenbewegung resp. Umdrehungszahl der Antriebsachse, weil mit der Steigerung der Umdrehungszahl ceteris paribus die Zeit, die zwischen den Phasenwechseln liegt, kürzer wird, und der Druckausgleich dementsprechend weniger vollkommen sich vollziehen kann. Diese theoretische Auseinandersetzung ist praktisch bestätigt durch die Beobachtung von Ostmann[1]) am Manometer, dass bei gleichbleibender Hubhöhe der Druck der Luftwellen wächst, wenn die Zahl der in der Zeiteinheit erfolgenden Luftstösse vermehrt wird. Ostmann hat jedoch nicht erkannt, dass dies bei dichtem Hohlraum unerklärliche Phänomen nur durch eine Undichtigkeit des von ihm benutzten Apparates erzeugt werden kann. Weiteres darüber ergiebt der experimentelle Theil dieser Arbeit.

4. Einfluss der Ausdehnung des Gummischlauches auf die erzielte Druckhöhe.

Ausser der activ durch den Kolben herbeigeführten Volumänderung des Gesammthohlraumes findet durch die Nachgiebigkeit des Zuführungsschlauches eine, die erstere Aenderung zum Theil compensirende, zweite, passive statt. Ich habe daher die Veränderung des Innenvolumens eines der gewöhnlich als Verbindungsglied benutzten schwarzen Gummischläuche von 4 mm Innendurchmesser und 1,5 mm Wandstärke bei positivem und negativem Innendruck experimentell bestimmt.

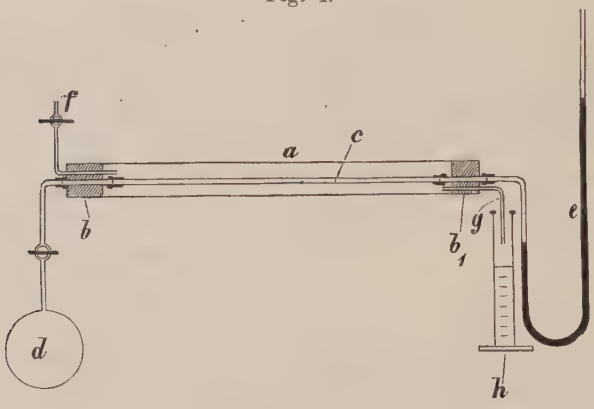
Dazu benutzte ich folgenden Apparat (Fig. 4). Ein 1,05 m langes, starkwandiges, 2,5 cm im Innendurchmesser haltendes Glasrohr a ist an beiden Enden durch paraffinirte Korkpfropfen dicht verschlossen. Beide Korke sind durchbohrt, je ein kurzes Stück Glasrohr von der Dicke des Gummischlauches geht durch sie hindurch und steht nach aussen und innen 2 cm über den Pfropf vor. Im Innern der Röhre a sind die beiden, die Schlusskorke durchsetzenden Rohrstücke durch den zu prüfenden, dicht aufsitzenden, in seiner Längsrichtung nicht gespannten

[1]) Ostmann, A. f. O. 44, p. 224.

oder torquirten Gummischlauch von 1 m Länge verbunden. Das eine äussere Rohrende ist mit einer Wasserstrahlpumpe d, das entgegengesetzte mit einem Quecksilbermanometer e verbunden. Gegen die Luftpumpe kann der Schlauch durch einen Hahn abgesperrt werden, so dass sich der im Prüfungsschlauch erzeugte Druck durch Abschliessen beliebig lange erhalten lässt und zugleich die vollkommene Dichtigkeit des Ganzen controlirt werden kann. Durch ein feines mit Hahn verschliessbares Rohr f, das durch den Kork b geht, wird das Rohr a mit luftfreiem Wasser vollkommen gefüllt.

Ein zweites den Kork b_1 durchsetzendes doppelt abgebogenes Rohr g mündet mit einer feinen Spitze in den in $^1/_{10}$ ccm getheilten Messcylinder h. Rohr a wird vollkommen horizontal gestellt.

Fig. 4.



Comprimire ich nun die Luft im Gummirohr c, so dehnt es sich aus, verdrängt entsprechend seiner Ausdehnung das Wasser aus a durch g in den Messcylinder h.

Ist umgekehrt die Volumabnahme der Gummiröhre bei negativem Druck zu untersuchen, so lasse ich die feine lange Spitze von g bis auf den Boden des vorher bis zu einer bestimmten Marke aufgefüllten Messcylinders h eintauchen. Es wird dann genau so viel Wasser aus g abgesaugt, als der Verminderung des Schlauchvolumens entspricht.

Bei beiden Versuchen wird durch Drehen von g in b_1, wenn das entsprechende Wasserquantum aus a zu- oder abgeflossen ist, und durch Heben von h der Wasserspiegel von h mit der oberen Flüssigkeitskante von a gleich hoch gestellt; dadurch wird eine Saugwirkung durch g, die auf den zu prüfenden Schlauch c wirken würde, ausgeschlossen.

Die Mittelwerthe der Volumänderung in ccm für 1 m Gummischlauch betragen:

Druck in cm Hg		Volumänderung	
+	−	+	−
2	2	0,3	0,27
4	4	0,65	0,65
6	6	1,00	1,00
8	8	1,3	1,3
10	10	1,8	2,0
12	12	2,3	3,5
14	—	2,7	—
16	—	3,2	—
20	—	4,3	—

Man sieht aus der Zusammenstellung, dass die Volumzu- und Abnahme annähernd proportional dem Drucke ist. Bei − 12 cm Hg fällt der Schlauch plötzlich zusammen, daher die schnelle Volumabnahme.

5. Einfluss der Stellung der Hubhöhe auf die Arbeitsleistung des Kolbens.

Wenn ich die Hubhöhe des Kolbens durch Entfernung des Kurbelzapfens von der Kurbelmitte vergrössere, so erziele ich damit zunächst eine Vergrösserung des verdrängten Luftvolumens und eine entsprechende Zunahme der Druckhöhen für positive wie negative Phase. Die Veränderung der Hubhöhe hat aber noch eine zweite wichtige Veränderung zur Folge, nämlich die Veränderung des Gesammthohlraumes.

Ist der Kolben im zweiten todten Punkt angekommen, so bleibt zwischen ihm und dem Cylinderboden noch ein Raum im Cylinder frei, der sogenannte todte Raum. Dieser ist bei den Apparaten mit veränderlicher Hubhöhe so bemessen, dass selbst bei höchstem Hube (20 mm) der Kolben im zweiten todten Punkt noch etwa 3 mm vom Cylinderboden absteht. Bei kleinerem Hube wird der todte Raum grösser, da der Abstand des Cylinderbodens von der Kurbelmitte fest ist, dagegen der Kolben derselben näher tritt. Eine Vergrösserung des Kolbenhubes hat also die doppelte Wirkung, das verdrängte Luftquantum zu vergrössern und den todten Raum zu verkleinern. Ich habe die Volumwerthe dieser Aenderungen für die 3 gebräuchlichsten Apparate mit verstellbarem Hub in die Kurventafel I eingetragen. Es sind dies die Apparate von Hirschmann (H), von Reiniger, Gebbert und

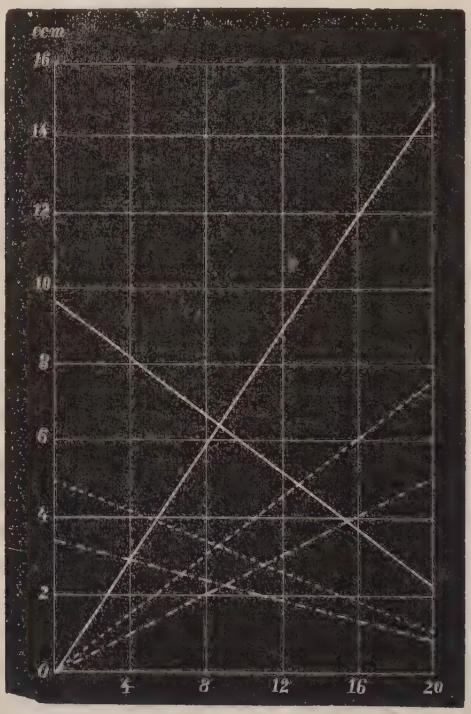
Schall (R), und von der Frankfurter elektrotechnischen Gesellschaft (F). Auf meine Anfrage erhielt ich von den genannten Firmen genaue Auskunft über den Durchmesser der Cylinder. Es hat H. 22 mm Durchmesser, R. 18 mm und F. 30,6 mm (eigene Messung). Der höchst anwendbare Hub beträgt für alle 20 mm. In Curventafel I sind von unten links nach oben rechts verlaufend die Grössen der Hubvolumina von 0—20 mm dargestellt. Der enorme Unterschied, der durch die verschiedenen Durchmesser bedingt wird, ist sehr auffällig. Auf derselben Tafel ist von links oben nach rechts unten verlaufend die Abnahme der toten Räume bei steigendem Kolbenhube zu sehen, auch hier zeigt sich der grosse Einfluss des Cylinderdurchmessers bei den verschiedenen Apparaten.

Curventafel I.

F ————————

H - - - - - - - - - -

R — — — — —



6. Bestimmung der Grösse der Druckschwankungen.

Es erübrigt noch die Grössenverhältnisse der übrigen Abschnitte des Gesammthohlraums festzustellen, um sich nach Einführung der einzelnen Grössen in die Boyle-Mariotte'sche Formel ein Bild der Gesammtwirkung zu construiren.

Der Verbindungsschlauch von 1 m Länge hat bei 4 mm lichtem Durchmesser ein Volumen von 12,56 ccm. Ich fand sein Volumen beim Calibriren mit Quecksilber fast genau gleich 13 ccm, also etwas grösser als die Rechnung, da der Schlauch nicht überall gleichmässig weit ist. Der dem Apparate H. beigegebene Siegle'sche Trichter hat ein Volumen von 6 ccm, der äussere Gehörgang von der Stelle, wo der fest eingesetzte Trichter endet, bis zum Trommelfell durchschnittlich 1 ccm.

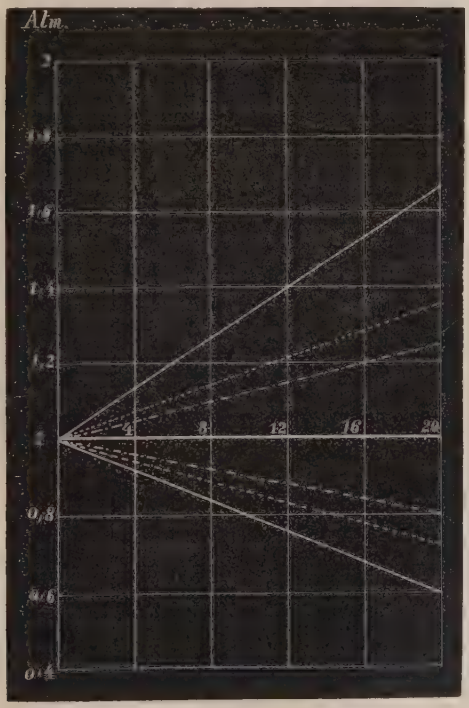
Bezeichnet man nun das Hubvolumen mit H, das Volumen des todten Raumes mit T, das des Schlauches mit S, des Ansatzstückes (Siegle'scher Trichter) mit A und das des äusseren Gehörganges mit G, so ergiebt sich die erreichte Höhe der Druckschwankung:

Für Möglichkeit I (nur positive Schwankung) als

$$x = \frac{H + T + S + A + G}{T + S + A + G}$$

für Möglichkeit II (nur negative Schwankung)

$$x = \frac{T + S + A + G}{H + T + S + A + G}$$



Curventafel II.

II. Volumen des Hohlraumes 20 ccm

F ———

H - - - - - - - - -

R — — — —

mm Hubhöhe.

Für Möglichkeit III, falls positive und negative Phase gleichlang dauern, ist der Maximalwerth der positiven Schwankung gleich der Hälfte des bei I erreichten, und für die negative Schwankung gleich der Hälfte der bei II erreichten. Bei undichtem Hohlraum werden, wie schon erläutert, positive und negative Phase bald gleich sein und die höchste erreichbare Druckhöhe immer mehr oder weniger hinter der bei III zurückbleiben.

Die für die drei Apparate F, H und R erreichten höchsten Druckschwankungen habe ich für die verschiedenen Hubhöhen bei einem Volumen des Hohlraumes von 20 ccm in Tafel II eingetragen. Die

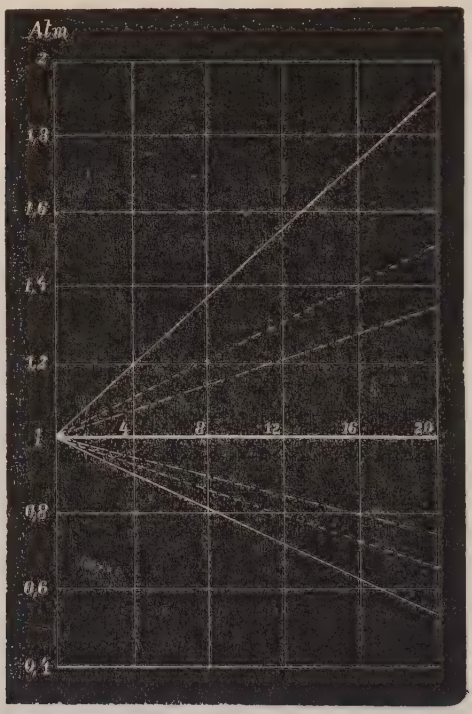
Curventafel III.

III. Volumen des Hohlraumes 14 ccm

F ——————

H - - - - - - - - - -

R — — — — —



ausgezogene Linie gilt für F, die punktirte für H und die aus Strichen und Punkten bestehende für R. Man sieht klar die enormen Druckunterschiede, die unter sonst gleichen Umständen durch die Verschiedenheit der Cylinderdurchmesser der einzelnen Apparate bedingt werden.

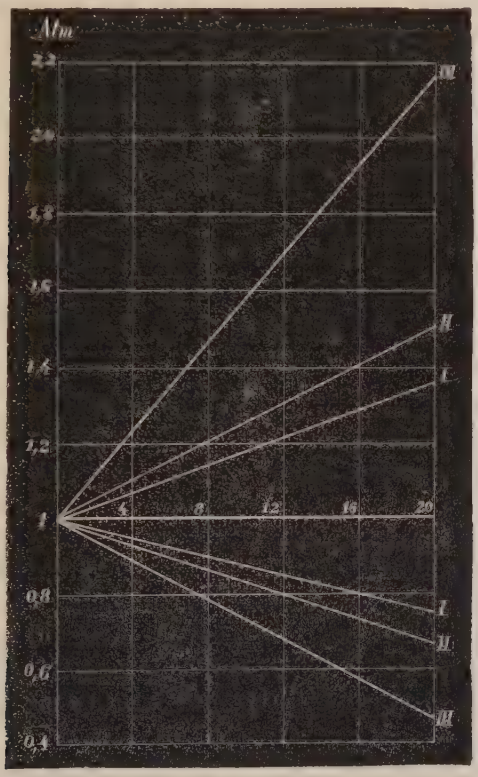
Das Ansteigen des Druckes durch Verkleinerung des Gesammthohlraumes, z. B. bei Fortlassen des Siegle'schen Trichters illustrirt Tafel III.

Schliesslich habe ich auf Tafel IV die höchsten Druckschwankungen für den beim Experimentiren von Ostmann und mir benutzten Hirschmann'schen Apparat bei verschiedenen Grössen des Hohlraums zusammengestellt. Die bei I rechts endigende Linie zeigt die Druckhöhen bei Anwendung von 1 m langem Verbindungsschlauch und Siegle'schem Trichter, die bei II endigende die Höhen bei Weglassen des Trichters und 1 m Schlauch, die bei III auslaufende, die ohne Trichter und mit nur 0,3 m Schlauch erreichten Druckhöhen. Die

Curventafel IV.

IV. Erreichte Druckhöhen von H.

I. Vol. 20,0
II. Vol. 14,0
III. Vol. 5,3



mm Hubhöhe

enormen Verschiedenheiten, die durch Veränderung des Gesammtvolumens in den Druckhöhen auftreten, sind hier sofort zu erkennen.

Die durch die Volumveränderungen des elastischen Schlauches auftretenden Aenderungen habe ich nicht eingetragen. Für die bis etwa 10 mm Hub auftretenden Druckschwankungen ist bei 20 oder 14 ccm Gesammtvolumens der Einfluss der Aenderung nicht sehr bemerkbar. Für die höheren Druckschwankungen ist er allerdings nicht unwesent-

lich, doch kommen noch die Reibung der Luft im Hohlraum, die bei verschieden grosser Bewegungsgeschwindigkeit sich ändert, und die Aenderung durch Erwärmung bei der Compression oder Abkühlung bei der Verdünnung hinzu, sodass theoretisch sich eine genaue Bestimmung der thatsächlich erreichten Druckhöhen nicht geben lässt. Die Bestimmung durch Messung wird hier die Wirkung am einfachsten und sichersten klarlegen. Immerhin dürfte es zweckmässig sein, zur Massage sich stets eines Schlauches von gleichem Volumen, Elasticität und Länge zu bedienen, wenn man annähernd dieselben Druckhöhen unter sonst gleichen Umständen erreichen will.

Regulirung der Höhe der Druckschwankungen durch Veränderung des Hohlraumvolumens.

Die Berechnung der Druckhöhen, die bei gleichem Kolbenschub unter verschiedenen Grössen des Hohlraumes entstehen, hat den Beweis geliefert, dass bei gleicher Grösse des Kolbenhubes die Veränderung des Gesammthohlraumes dieselbe Bedeutung hat, wie die Veränderung des Kolbenschubes bei gleichbleibendem Hohlraum. Es hat sich ferner ergeben, dass die durch das Verändern des Kolbenhubes herbeigeführte Aenderung der Höhe der Druckschwankung sich viel energischer, mehr sprungweise, vollziehen muss, als die durch einfache Aenderung des Gesammtvolumens herbeigeführte, da durch die Vergrösserung oder Verkleinerung des Kolbenhubes nicht nur die von diesem verdrängte Luftmenge, sondern auch die Grösse des Gesammtvolumens durch die gleichzeitig stattfindende Vergrösserung oder Verkleinerung des todten Raumes sich ändert. Es lag daher nahe, sich diese Thatsachen zu Nutze zu machen und durch willkürliche bestimmte Aenderung des Gesammthohlraumvolumens eine Regulirung der Höhe der Druckschwankungen herbeizuführen, ohne dass man eine Verstellung der Hubhöhe nöthig hat. Diese Art der Regulirung hat zudem noch den Vorzug, während der Massage selbst sich vornehmen zu lassen.[1])

Zu diesem Zwecke schalte ich in die Schlauchleitung mit einem T förmigen Rohrstück eine cylindrische Röhre mit bekanntem Querschnitte ein, in der sich dicht schliessend, ein Kolben hin- und herschieben lässt (Fig. 5). Der Kolbenhub wird so bemessen, dass man bei ganz eingeschobenem Regulatorkolben eine Höhe der Druckschwankung erreicht, die über das Maass des praktischen Bedürfnisses hinausgeht,

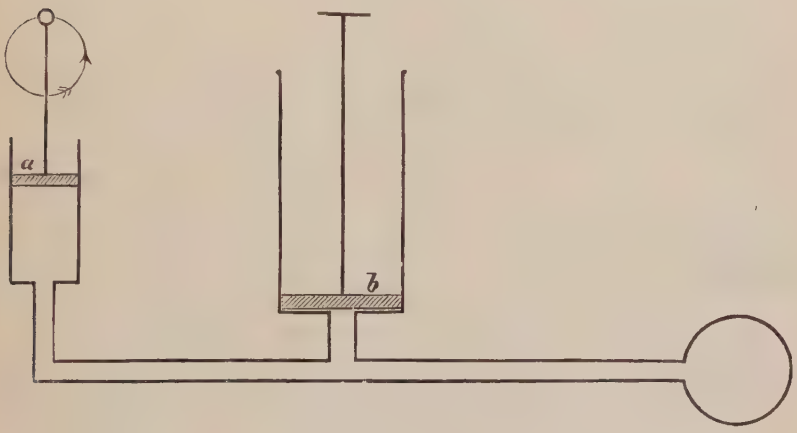
[1]) Die Firma Hirschmann hat, wie sie mir mittheilt, unabhängig einen auf demselben Princip beruhenden, noch nicht veröffentlichten Regulator gebaut.

z. B. bei H 12 mm Hubhöhe. Die Stellung des Kurbelzapfens wird an diesem Punkte ein für allemal fixirt. Nehme ich nun das Volumen des Druckregulators bei vollkommen ausgezogenem Kolben zu 50 ccm, so kann ich durch Verstellung des Regulatorkolbens alle Druckschwankungen erzeugen, die bei 1 m Schlauchlänge sich zwischen 3—12 mm Kolbenhub erzielen lassen, ohne an der Grösse des Kolbenhubes etwas zu ändern.

Doch bietet der Regulator auch noch die Möglichkeit, die verschiedensten Arten von Druckschwankungen während des Massirens auf das Trommelfell wirken zu lassen.

1. Angenommen, es sei keine Undichtigkeit im Hohlraum. Der Pumpenkolben a (Fig. 5) stehe auf dem 1. todten Punkt, der Regulatorkolben b sei ganz eingeschoben, so findet während

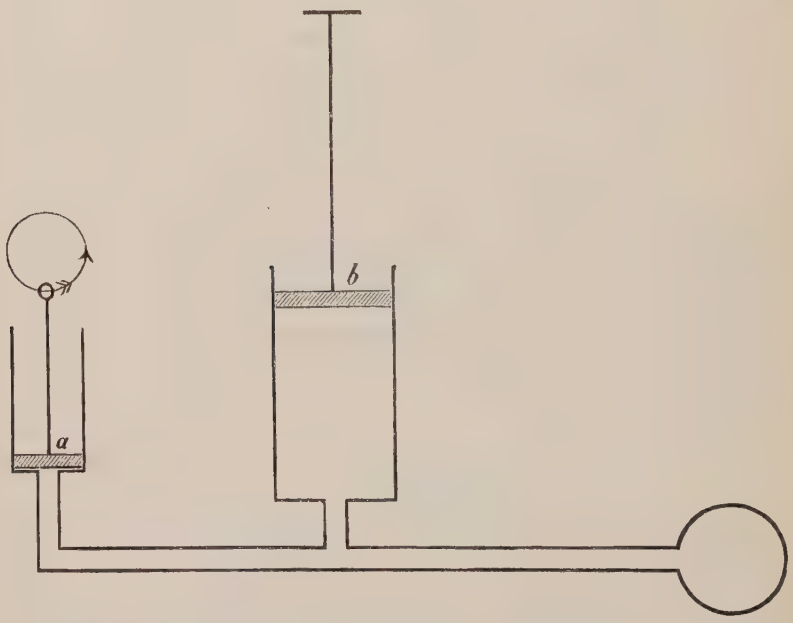
Fig. 5.



der Massage nur eine positive Schwankung statt. Ziehe ich nun b nach aussen, so vergrössere ich den Gesammthohlraum. Die positive Druckphase wird niedriger, und es tritt neben ihr eine negative Phase auf. Ziehe ich b noch weiter aus, bis der im Regulator erzeugte Hohlraum gleich dem Hubvolumen von a wird, so verschwindet die positive Schwankung, und es herrscht nur noch die negative Phase. Ziehe ich b immer mehr aus, so sinkt im ganzen Hohlraum der Druck unter den der Atmosphäre, und ich wirke mit zunehmend negativem Drucke von langsam abnehmender Höhe der Druckschwankung, immer unter dem der Atmosphäre bleibend, auf das Trommelfell ein.

2. a steht im 2. todten Punkt (Fig. 6), b ist ganz ausgezogen. Es erfolgt der entgegengesetzte Wechsel von negativer zu positiver Schwankung, wie bei 1., bis schliesslich unter immer stärker werdendem, nur positivem Drucke und immer zunehmender Höhe der Druckschwankung gearbeitet wird.
3. Bei Mittelstellung von b habe ich es in der Hand, positive oder negative Phase beliebig zu verstärken.

Fig. 6.



4. Ist der Pumpenkolben a oder der Gesammthohlraum in geringem Maasse undicht, so kann ich durch allmähliches Aus- oder Einziehen von b den Luftverlust bei der Kolbenbewegung ersetzen und wenigstens eine Zeitlang mit nur positiver oder nur negativer Druckschwankung arbeiten, bis der Regulatorinhalt erschöpft ist. Allerdings arbeite ich mit ab- oder zunehmender Höhe der Druckschwankung.

Arbeitsleistung der Luftdruckschwankungen am Trommelfell.

Die Luftdruckschwankungen im Hohlraum leisten am Trommelfell dadurch ihre Arbeit, dass dieses beweglich ist und durch seine Be-

wegung den Ausgleich zwischen dem im Hohlraum und dem in der Paukenhöhle herrschenden Druck zu vermitteln sucht.

Die Kraft, mit der diese Bewegung ausgeführt wird, ist das Product aus der Oberfläche des Trommelfells multiplicirt mit der Differenz der Drucke, die auf seinen beiden Flächen lasten. Die Oberfläche des menschlichen Trommelfells beträgt nach den Angaben in physiologischen Lehrbüchern (Landois, Vierordt) etwa 50 mm^2. Der Druck in der Pauke ist, wenn der Ausgleich durch die Tube ungestört sich vollzieht, gleich dem Drucke der äusseren Atmosphäre. Es beträgt dann die Kraft, mit der das gesammte Trommelfell nach innen getrieben wird, z. B. bei einer positiven Schwankung von 1 atm ungefähr 100 g.

Ob nun diese ganze Kraft zur Geltung kommt, ist fraglich. Durch die Ein- oder Auswärtsbewegung des Trommelfells wird auch das Volumen der Paukenhöhle geändert und eine Druckschwankung im Sinne der Schwankung vor dem Trommelfell hervorgerufen Die Höhe dieser Schwankung in den Mittelohrräumen richtet sich einestheils nach der Ausgiebigkeit der Trommelfellbewegung, dann aber nach der in jedem Falle verschiedenen Grösse der Mittelohrräume (Pauke, Antrum mastoideum etc.) und endlich danach, wie schnell die Luft durch die Tube zu entweichen oder einzudringen vermag.

Festzuhalten ist jedenfalls, dass ausser den Bewegungen der Kette durch die Trommelfellbewegungen auch Luftdruckschwankungen in den Mittelohrräumen entstehen müssen, analog den Schwankungen im äusseren Gehörgang.

Es erübrigt noch kurz die Frage zu berühren, ob die Wirkung der Luftdruckschwankungen etwa auch als Stosswirkung aufzufassen ist, hervorgerufen durch die Massenbeschleunigung, die der Kolben der eingeschlossenen Luft mitgetheilt hat. Es ist von vornherein nicht anzunehmen, dass die geringe, vom Kolben in Bewegung gesetzte Luftmenge mit ihrer minimalen Masse eine erhebliche Wirkung auszuüben im Stande sei. Eine annähernde Schätzung der Stosskraft, die sich bei Apparat H. ohne Berücksichtigung der Reibung bei 10 mm Hubhöhe und 1200 Umdrehungen in der Minute ergeben würde, füge ich hier bei.

Bei diesem Hube hat der Kolben 40 cm in der Secunde Geschwindigkeit. Er verdrängt 3,8 ccm, die er bei einem Kolbenquerschnitt von 380 mm^2 durch einen Schlauch von 12,6 mm^2 verschiebt. Die Geschwindigkeit der Luft im Schlauch verhält sich zu der im Cylinder (Kolbengeschwindigkeit), umgekehrt, wie die Querschnitte der beiden

Hohlräume. Sie erlangt also eine mittlere Geschwindigkeit von 1280 cm in der Secunde, eine Höchstgeschwindigkeit von 2560 cm in der Secunde im Schlauch. Das specifische Gewicht der Luft ist 0,00129. 3,8 ccm wiegen also 0,0049 g. Nach mechanischen Grundgesetzen ist die Kraft gleich dem Product aus Masse und Acceleration, wobei auch gleich Kraft ihre Wirkung, das ist der von ihr hervorgebrachte Druck gesetzt werden kann.

Danach ist der maximale Druck in unserem Beispiel hervorgebracht durch die Massenwirkung der Luft gleich 1,255 g auf den Quadratcentimeter. Da aber der Geschwindigkeitsverlust der Luft, hervorgebracht durch die Reibung an den zahlreichen Ecken und Wirbelbildung an den unvermittelten Uebergängen von weiteren zu engeren Hohlräumen sehr beträchtlich sein muss, so ist diese Zahl noch bei Weitem zu hoch geschätzt. Man kann sie also gegenüber der durch die Volumänderung herbeigeführten Druckkraft als unwesentlich vernachlässigen.

Ganz anders liegen jedoch die Verhältnisse, wenn man wie Lucae[1]) einen leicht beweglichen, schweren Körper (Wasser) in die Leitung einschaltet. Hier wird das Wasser durch die Druckänderung im Hohlraum in Bewegung gesetzt und fügt der durch die Volumänderung hervorgerufenen Druckschwankung noch die Stosskraft des unelastischen schweren Mediums hinzu. Da das Wasser fast 1000 Mal schwerer ist als Luft und zudem fast vollkommen unelastisch, ist es sofort verständlich, dass Lucae, trotzdem die Geschwindigkeit des Wassers, wegen des grossen Querschnittes im hydropneumatischen Ansatzstück, wesentlich geringer ist als die der Luft im Schlauch, doch eine bedeutend höhere Kraftleistung auf das Trommelfell erzielte, als wenn er das Wasser wegliess.

Man hat es bei seinem Apparat also wesentlich mit einer Massenstosswirkung zu thun.

Einfluss der Trommelfellbewegungen auf die Ossicula.

Nach Helmholtz[2]) vollzieht sich die Uebertragung des durch die Luftdruckschwankungen auf das Trommelfell ausgeübten Druckes auf den Hammergriff durch die Radiärfasern des Trommelfells. Sie sind in flachem Bogen nach aussen convex gespannt. Beim Druck von

[1]) Lucae, Arch. f. Ohrenheilk. 51, p. 11.

[2]) Helmholtz, Die Mechanik der Gehörknöchelchen und des Trommelfells, p. 46 u. ff.

aussen nähern sie sich der geraden Linie und übertragen die Arbeit mit stetig sich vergrössernder Kraft und stetig abnehmendem Wege auf das Manubrium, bis sie gerade geworden sind. Erfolgt umgekehrt ein Druck von innen her, so nimmt die Wölbung der Radiärfasern zu, und die Arbeit wird mit während der Bewegung stetig sich vergrösserndem Wege und stetig sich verringernder Kraft auf das Hammergriffende übertragen. Kurz, ich wirke bei derselben Höhe der Druckschwankung mit geringerer Kraft auf das Hammergriffende von dessen Ruhelage aus und erreiche eine grössere Bewegung desselben, wenn der Druck von innen her auf das Trommelfell wirkt (negative Phase), als wenn ich durch Druck von aussen her (positive Phase) die Trommelfellradiärfasern zur Streckung bringe und deren in diesem Falle hebelartig wirkende Kraftübertragung zur Geltung bringe.

Der Hammer bewegt sich nun um das annähernd in seiner Mitte liegende Achsenband. Hätte er keine Kraft weiter auf den Amboss zu übertragen, so würde seine Bewegung eine reine Drehbewegung um die Achse sein, und diese selbst keinen Druck aufzunehmen haben.

Bei der Einwärtsbewegung ist aber die Zugwirkung des Musculus stapedius, bei der Auswärtsbewegung die des Tensor tympani zu überwinden, und schliesslich haben wir es bei der Anwendung der Massage zu Heilzwecken wohl immer mit weiteren Bewegungshindernissen an irgend einer Stelle der Kette zu thun. In all diesen Fällen wird durch den Hammer eine Arbeit geleistet, also die Bewegung seines Kopfes mehr oder minder gehemmt. Es wirkt dann der Hammer als einarmiger Hebel auch auf das Achsenband ein, indem der Hammerkopf als Hypomochlion dient. Man muss also annehmen, dass auch bei der Pneumomassage mit mehr oder minder grosser, sich nach der Grösse des die Kette fixirenden Hindernisses richtender Kraft das Achsenband auf Dehnung beansprucht wird, eine Wirkung, die man von vornherein nur bei der Drucksondenwirkung für möglich halten könnte. Ueber die Beanspruchung der anderen Bänder und der Gelenke lassen sich nach den directen Beobachtungen im experimentellen Theil der Arbeit genauere Angaben machen.

II. Experimenteller Theil.

I. Messung der entstehenden Druckschwankungen.

Bei der theoretischen Erörterung hat es sich ergeben, dass man, um einen bestimmten Druck bei bestimmter Hubhöhe zu erreichen, den übrigen Hohlraum von einer bestimmten Grösse nehmen muss. Will

man daher die Druckhöhe bestimmen, die auf das Trommelfell einwirkt, so geschieht dies am sichersten, wenn man das Manometer direct an die zum Ohr führende Schlauchleitung anschliesst. Man hat dann wenigstens die Gewissheit, so weit die durch die Construction des Manometers entstehenden und nicht zu beseitigenden Fehler es zulassen, wirklich die Höhe der Druckschwankungen gemessen zu haben, die auf das Trommelfell einwirken. Stellt man dagegen die Messungen der Druckschwankungen zunächst bei einem anderen Hohlraum an, so sind selbst bei thunlichst genauem Ausmessen desselben Fehler kaum zu vermeiden. In den Arbeiten von Ostmann ist aber auch die Vorsicht, den Hohlraum vorher auszumessen, ausser Acht gelassen worden. So verbindet er[1]) »mittelst 1 m langen Gummischlauches« das Fick'sche Federmanometer mit dem einen Ableitungsrohr des Cylinders und bestimmt gleichzeitig das Maximum des Druckes mit dem Maximummanometer »indem die zweite Abflussöffnung des Cylinders durch ein ganz kurzes Stück dickwandigen Gummischlauches mit der 15 cm langen Glasröhre verbunden wurde, deren anderes Ende von dem Ventil verschlossen war, das sich nach dem Manometer zu öffnete«. Ostmann hat also den Druck bei gleichem Kolbenhube in einem ganz anderen Hohlraum gemessen, als in dem, womit er experimentirte. Bei seinen Thierversuchen dürfte er dasselbe Verfahren angewandt haben, da er über die dort gebrauchte Art der Druckmessung nichts Neues hinzufügt.

Ausserdem, dass Ostmann den Einfluss der Grösse des Gesammthohlraumes unberücksichtigt liess, hat er noch einen zweiten wesentlichen Fehler bei seiner Versuchsanordnung gemacht. Auf der einen Cylinderseite des H. ist nämlich Hubvolumen und Volumen des todten Raumes wesentlich kleiner als auf der anderen, weil hier die bei H. 6 mm dicke Kolbenstange durchgeht, die den Kolbenverdrängungsquerschnitt von 380 mm^2 auf 352 mm^2 reducirt. Ausserdem ist die Stopfbüchse wohl kaum dicht schliessend zu bekommen (bei dem H., den ich benutzte, war sie sogar stark undicht), es entsteht also durch diese sehr wahrscheinliche Undichtigkeit noch eine zweite in ihrer Grösse uncontrolirbare Fehlerquelle, deren Wirkung bereits theoretisch erörtert wurde.

Bei der Messung ist ferner unbedingt die Anfangsstellung des Kolbens bei dem Beginn der Bewegung zu berücksichtigen, will man nicht Angaben erhalten, die gegen die wirklich vorhandenen Druck-

[1]) Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, p. 222.

schwankungshöhen um 100 % und mehr differiren können. Wie wir gesehen haben, bewirkt eine minimale Undichtigkeit, dass eine nur positive oder nur negative Schwankung sich in eine positiv-negative wandelt. Schliesst also der Kolben dicht und ist die Stopfbüchse undicht, so treten je nach Anfangsstellung des Kolbens in dem mit Stopfbüchse versehenen Cylindertheil ganz andere Arten von Druckschwankungen auf, als in dem mit dichtem Deckel verschlossenen. Sind Kolben und Stopfbüchse dicht, so kann nur bei Mittelstellung des Kolbens die gleiche Art der Druckschwankung in beiden Cylinderhälften auftreten. Bei allen anderen Stellungen werden positive und negative Phase wesentlich verschieden hoch ausfallen und bei Möglichkeit I oder II auf der einen Seite des Kolbens, die entgegengesetzten Druckphasen auf der anderen Seite des Kolbens während der ganzen Dauer der Massage auftreten.

Kurz, eine enorm grosse Anzahl von Fehlern wird durch die Ostmann'sche Anordnung herbeigeführt, sie ist daher unbedingt zu verwerfen.

Die schon öfters erwähnte Aenderung, die in der Grösse und Anordnung der Druckphasen durch Undichtigkeit des Hohlraums während der Arbeit des Apparates entstehen, machen es ferner unbedingt nöthig zur Messung der erreichten Druckhöhen ein Maximum- und ein Minimummanometer zu verwenden.

Ostmann[1]) spricht zwar davon, dass bei allen Untersuchungen ein Maximum-Minimummanometer angewandt wurde. Doch finden sich nur Angaben über Maximaldrucke. Er multiplicirt nachher einfach den höchst gemessenen Druck mit 2, um die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Druck zu bestimmen; wie er sagt[2]) »unter der allerdings wohl nicht ganz zutreffenden Annahme, dass die saugende Wirkung stets der Druckwirkung entsprach«. Auch das ist unzulässig.

Schliesslich ist es unrichtig, die Druckhöhen als Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Druck anzugeben[3]). Wir haben gesehen, dass die auf das Trommelfell wirkende Kraft bestimmt wird durch die Differenz der Drucke, die auf beiden Flächen der Membran lasten. Habe ich aussen 1,2 atm. und in der Pauke 1 atm., so lastet aussen ein Druck von 0,2 atm. = 100 g insgesammt auf dem Trommelfell. Wirkt aussen 0,8 atm. und innen 1 atm., so ist die Differenz wieder 0,2 atm.

1) Ostmann, Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, p. 217.
2) Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, p. 218.
3) Ostmann, Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, p. 225.

und es lasten auf der Innenfläche des Trommelfells 100 g. Es wirkt aber durchaus nicht ein Druck von 0,4 atm. auf das Trommelfell ein, wie dies Ostmann überall annimmt[1]).

An einer Stelle hat Ostmann[2]) ein Minimum-Manometer angewandt, nämlich bei der Untersuchung des Rarefacteur von Delstanche.

Dieses Instrument soll nur durch negative Luftdruckschwankungen wirken. Die von Ostmann erhaltene Curve zeigt aber klar, wie durch irgend eine Undichtigkeit bei der Massage eine positive Schwankung auftritt. Zieht man nämlich parallel der vom Zeitmesser gezogenen Linie eine Linie, die durch den geraden Anfangstheil der Druckcurve geht, so sieht man, wie sich allmählich der obere Theil der Curve über die Atmosphärenlinie erhebt. Das bedeutet nichts anderes, als: zu der zunächst rein negativen Schwankung kommt bald eine positive hinzu. Die gleichzeitige Anwendung eines Maximum-Manometers würde diese Thatsache sofort aufgedeckt haben.

Es ist also unbedingt, sowohl für negative, wie für positive Phase ein besonderes Kundt'sches Manometer zu verwenden, beide sind in den Hohlraum, in dem die auf das Trommelfell wirkenden Druckschwankungen entstehen, direct einzuschalten.

Zuverlässigkeit der Angaben des Kundt'schen Manometers.

Es fragt sich nun, wie weit man sich auf die Angaben des Kundt'schen Manometers selbst verlassen kann.

Raps[3]) hat in seiner Untersuchung über die objective Darstellung der Schallintensität die Kundt'schen Ventile verworfen. Zu genauen Messungen sind sie nicht geeignet. Kundt[4]) giebt selbst an, dass sie bei ihrer grossen Beweglichkeit nur sehr schwer luftdicht herzustellen sind, und dass ein merklicher Ueberdruck immer noch auf einer Seite ist, um das Ventil zu öffnen. Man hat nach Raps weiter keinen Anhalt, ob die Membran auch wirklich luftdicht abschliesst, wenn in der Pfeife die dem Manometerdrucke entgegengesetzte Phase herrscht, und ob es sich gerade in dem Augenblicke luftdicht anlegt, wenn der Knoten seinen Maximalwerth durchlaufen hat.

---

[1]) Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, pp. 219, 220, 225, 226, 227, 228, 230.

[2]) Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, p. 232.

[3]) A. Raps, Zur objectiven Darstellung der Schallintensität. Annal. d. Phys. u. Chemie, N. F. Bd. 36, p. 273, 1889.

[4]) Kundt, Pogg. Annal. Bd. 134, p. 563, 1868.

Dvorák[1]) hat ebenfalls gefunden, dass die Angaben verschiedener Manometer sehr ungleich ausfielen. Raps hat deshalb zwangsläufig gesteuerte Ventile angegeben, die ihren Zweck vollkommen erfüllen und bei Tönen genau am Ende einer jeden Phase öffnen und schliessen. Für unsere Zwecke sind diese Ventile jedoch nicht zu verwenden, da, wie wir gesehen haben, an jedem Punkte des Kolbenhubes die Phasenumkehr eintreten kann, die ausserdem bei irgend einer Undichtigkeit im Apparate sich fortwährend vorschiebt und deren Eintritt deshalb zeitlich vorher nicht zu bestimmen ist.

Wir müssen also bei den Kundt'schen Ventilen bleiben, jedoch ihre Unvollkommenheit und besonders auch das schwere Ansprechen bei niedrigen Druckschwankungen stets im Auge behalten.

Ein Hülfsmittel, um den ungenauen Gang der Manometer wenigstens bei dem Ueberwiegen einer Druckphase zu signalisiren, besteht darin, zu den beiden Ventil-Manometern ein drittes zu beobachten, wie das Kundt (l. c.) für seine Vorlesungsapparate vorschlägt. Die Flüssigkeitssäule dieses Manometers wird von positivem und negativem Druck gleichzeitig angetrieben. Ihre Trägheit gestattet ihr jedoch nicht, schnell wechselnden Druckschwankungen zu folgen. Dies Manometer stellt sich vielmehr in Mittelstellung zwischen höchster und niedrigster Druckschwankung ein, und gestattet somit eine Controle über die Richtigkeit der Angaben der Ventilmanometer beim Ueberwiegen einer Druckphase ohne Weiteres auszuüben.

Die drei Manometer werden zweckmässig so zusammengestellt, dass sie auf einer gemeinsamen Skala mit gemeinsamem Nullpunkt abgelesen werden können, wie die Abbildung (4) des gesammten Untersuchungsapparates zeigt. Sie werden ausserdem mit Hähnen versehen, die nach jeder Ablesung eine Verbindung mit der Aussenluft sofort herzustellen gestatten. Es wurde besonders darauf geachtet, dass die Grösse der todten Räume, die durch die drei Manometer, die Ventile und Verbindungsröhren sich ergab, möglichst niedrig ausfiel. Die benutzten Glas- und Gummirohre hatten 1,5 mm Innen-Durchmesser. Ihre Wandungsstärke betrug 3 mm. Das Gesammtvolumen der 3 Manometer bis zur Quecksilbersäule betrug 5,6 ccm. Um durch das Ausweichen der Flüssigkeitssäule bei der Druckschwankung keine merkliche Veränderung des Gesammthohlraumes herbeizuführen, wählte ich Quecksilber, obschon sich die Ablesungen bei niedrigen Drucken schwieriger gestalten, als

[1]) Dvořák, Pogg. Annal. 150, p. 410, 1873.

beispielsweise bei Wasser. Die Volumänderung beträgt aber bei 10 cm Hg noch nicht 0,18 ccm, während sie bei Verwendung von Wasser bei demselben Drucke über 2,4 ccm betragen haben würde.

Bei der Druckmessung durch das Ventilmanometer hat man noch auf einen Umstand besonders zu achten. Die zur Messung dienende Flüssigkeitssäule hat ein grosses Beharrungsvermögen. Lasse ich nun die Luftpumpe angehen, so dass die Flüssigkeitssäule der Drucksteigerung folgen kann, so wird sie in schnelle Bewegung gesetzt. Diese Bewegung hört nun aber in Folge der Trägheit der Flüssigkeit nicht auf, wenn die Druckschwankung den höchsten Punkt erreicht hat, sondern die Flüssigkeit bewegt sich je nach der ertheilten Geschwindigkeit noch um eine beträchtliche Strecke weiter. Beim Abnehmen der Druckschwankung schliesst sich dann das Kundt'sche Ventil und, wenn es dicht ist, wird die Manometerflüssigkeit auf einem Punkte festgehalten, der viel höher liegt, als das thatsächlich erreichte Druckmaximum. Ich fand es daher zweckmässig, durch einen Schraubquetschhahn den zuführenden Schlauch zunächst geschlossen zu halten und der Luft durch langsames Freigeben der Oeffnung erst allmählich den Zugang zu gestatten.

Messung der Umdrehungszahl der Motorachse.

Da meine Absicht ist, die Wirkung der Luftdruckschwankungen auf den Schallleitungsapparat unter Vermeidung der durch einen Schreibmechanismus herbeigeführten Fehlerquellen unter directer Beobachtung festzustellen, so fiel für mich die Möglichkeit, durch eine zeitmessende Curve die Geschwindigkeit der Umdrehung festzustellen, weg. Ich verfuhr deshalb nach der von Pfaundler[1]) angegebenen Methode, die ich etwas abgeändert anwandte. Auf die Achse des Motorankers wird eine runde Messingscheibe aufgesetzt, die nahe an ihrer Peripherie eine concentrische Reihe von 51 gleichweit von einander entfernten runden Löchern trägt, also eine Sirenenscheibe. Mit einem Doppelgebläse wird durch ein am Motor befestigtes, der Lochreihe genau gegenüber stehendes, 1 mm im Lichten haltendes Mundrohr Luft gegen die Lochreihe geblasen. Mit diesem Mundrohr durch ⊤-Stück verbunden, wird gleichzeitig eine gedackte Orgelpfeife der Bezold-Edelmann'schen continuirlichen Tonreihe angeblasen. Durch Schraubquetschhahn wird die Luftzufuhr zu dieser Pfeife so eingestellt, dass Sirenen- und Pfeifenton

[1]) Pfaundler in Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik, Bd. III, p. 801, 9. Aufl.

annähernd gleich laut sind. Die Sirenenscheibe wird durch Anwendung des Rheostaten des Elektromotors in so schnelle Umdrehung versetzt, dass beim Anblasen Sirene und Pfeife genau rein denselben Ton angeben, was sehr leicht zu machen ist. Durch einfache Rechnung ergiebt sich aus der Schwingungszahl des Pfeifentons sofort die jeweilige Umdrehungszahl des Elektromotors. Durch Verstellen der gedackten Pfeife lassen sich weitgehende Veränderungen der Umdrehungszahl schnell und sicher bestimmen. Eine zweite Lochreihe von nur 24 Löchern erwies sich als unzweckmässig beim Gebrauch, weil die tiefen Töne sich schwer mit den als Vergleichsinstrumente bestimmten Stimmgabeln zusammen stimmen liessen.

Diese Methode verdient, abgesehen von der hohen Genauigkeit, mit der sich nicht nur die absolute Umdrehungszahl, sondern auch die geringsten Schwankungen in der Geschwindigkeit feststellen lassen, schon deshalb vor allen anderen den Vorzug, weil sie ohne jeden Kraftverlust, der sich bei einem so kleinen Motor sehr bemerkbar macht, arbeitet.

Die Druckhöhen wurden bei verschiedenen Umdrehungszahlen des Motors bestimmt. Bei einer Lochzahl von 51 in der Sirene entsprach Gleichstimmung mit c^2 der Pfeife einer Umdrehungszahl von 755 in der Minute. $a^2 = 1005$; $c^3 = 1510$; $a^3 = 2010$; $c^4 = 2420$; $e^4 = 3020$. Letztere Umdrehungszahl entsprach ungefähr dem Maximum, das sich mit einem kleinen sechszelligen Accumulator bei 14 Volt und kleinem Kolbenhub erreichen liess. Die Maximalgeschwindigkeit nahm mit dem Wachsen des Kolbenhubes allmählich ab und überschritt bei 20 mm Hub nicht mehr 1360 Umdrehungen in der Minute. Der Apparat erwies sich als sehr empfindlich gegen die geringsten Widerstände bei der Drehung. Ein nur wenig verstärkter Druck der Collectorbürste führte eine Verringerung der Umdrehungszahl von 30—40 % herbei, ein Beweis dafür, dass jede Reibung verursachende Messungsmethode der Geschwindigkeit zu verwerfen ist.

Die Versuche mit positiver Anfangsstellung des Kolbens (I. Möglichkeit) ergaben, dass nur bei 2 und 4 mm Kolbenhub, bei einem Gesammthohlraum von 13 ccm die Druckschwankung während der ganzen Dauer der Bewegung minutenlang eine positive bliebe. Ebenso war bei der negativen Anfangsstellung (II. Möglichkeit) nur für diese niedrigen Hubhöhen eine dauernd und gleichmässig hohe negative Phase zu erzielen.

Die zwischen 755 und 3020 variirende Umdrehungszahl übte dabei keinen merklichen Einfluss auf die gemessene Druckhöhe aus. Diese betrug bei 2 mm Hub bei positiver Phase + 12 mm Hg, bei negativer — 12 mm Hg und bei 4 mm Hub, entweder + 36 oder — 32 mm Hg. Bei der Massage mit positiver Schwankung trat dabei niemals eine Bewegung des Minimum-Manometers auf, bei der mit negativer Schwankung nie eine solche des Maximum-Manometers. Es stellte sich schon bei den ersten Versuchen heraus, dass bei einer Druckschwankung von 12 mm Hg und weniger die Manometerventile nur schwer ansprachen. War die erstmalige Eröffnung der Ventilmembran durch leichtes Klopfen am Ventil, oder durch kurzes Zuquetschen des abführenden Gummischlauches einmal bewerkstelligt, so folgte die Flüssigkeitssäule auch diesen niedrigen Druckschwankungen, immerhin waren jedoch unter sonst gleichen Umständen, auch dabei verschiedene Stellungen der Flüssigkeitssäulen, die bis zu 5 mm Hg variirten, nicht zu vermeiden.

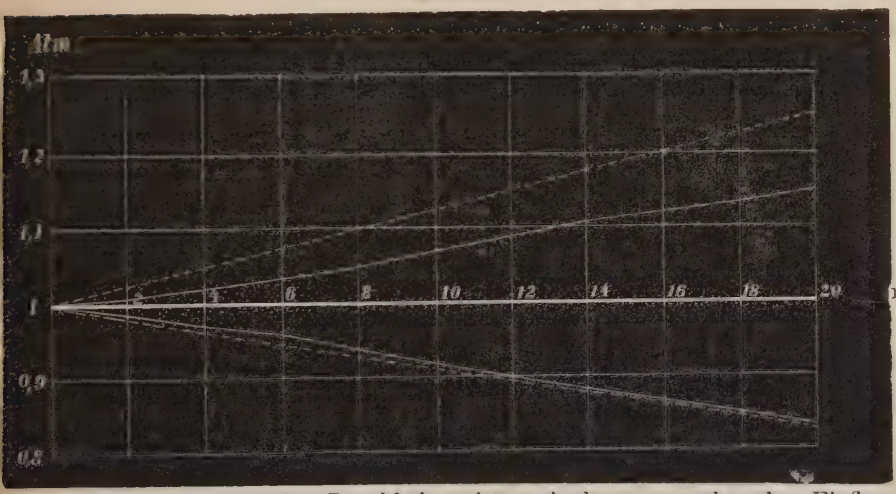
Es war somit die theoretische Forderung, dass die Anfangsstellung von vornherein den Charakter der Druckschwankungen bei dichtem Hohlraum bestimmen müsse, erwiesen.

Ging ich dagegen zu grösseren Hubhöhen (6—20 mm) und den mit ihnen verbundenen grösseren Druckschwankungen über, so zeigte sich bald, dass der Kolben trotz einer über ihm stehenden Schicht dicken Oels nicht genügend dicht war. Es stellte sich der durch die Undichtigkeit bedingte Ausgleich zwischen negativer und positiver Schwankung ein. Bei 6 mm Hubhöhe erfolgte der Ausgleich bei 1005 Umdrehungen, langsam und gut beobachtbar am Manometer, in 35 Sec. Bei grösseren Hubhöhen schneller, bei 20 mm fast momentan. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass der zum Experiment gebrauchte Apparat schon ziemlich abgenutzt war; bei gut gearbeitetem neuen dürfte sich auch für die höheren Druckschwankungen der Einfluss der Kolbenanfangsstellnng geltend machen.

Die mit indifferenter Anfangsstellung bei 1005 Rotationen in der Minute erhaltenen Druckhöhen sind auf Tafel 5 eingetragen der Deutlichkeit halber doppelt so gross, als auf den vorhergehenden Tafeln. Die punktirten Linien bezeichnen dabei die theoretisch höchst erreichbaren Druckschwankungen, die ausgezogenen die thatsächlich erreichten. Es muss von vorne herein auffallen, dass die negative Curve fast genau in der Höhe der theoretisch construirten verläuft, während die positive nicht unbedeutend dahinter zurückbleibt. Die Erklärung dieser Erscheinung ist nach meiner Ansicht darin zu suchen, dass das auf dem

Kolben stehende Oel bei der positiven Phase während der Einwärtsbewegung nicht schnell genug die Cylinderwände vollkommen benetzen konnte und somit der zwischen den feinen Undichtigkeiten hervordringenden Luft den Ausweg gestattete, während bei der negativen Phase das den Cylinder benetzende Oel zwischen Kolben und Cylinderwand eingesogen wurde und so ventilartig der Aussenluft den Eintritt wenigstens durch die feineren Undichtigkeiten erschwerte. In der That konnte ich auch stets am ventillosen Controlmanometer ein Ueberwiegen der negativen Schwankung feststellen, ich habe bei den höheren Kolbenhüben an ihm negative Schwankung bis zu 16 mm Hg wahrgenommen. Die Messung bei grösserer Umdrehungszahl ergab namentlich bei Kolbenhüben über 10 mm bis zu 30 % höhere Druckschwankungen,

Curventafel V.



dieses Wachsen der Druckhöhen ist nach dem, was über den Einfluss der Undichtigkeit gesagt ist, nicht weiter auffällig.

Die Erzielung einer ausschliesslich negativen Druckschwankung.

Die eben angeführten Versuche haben das Ergebniss gehabt, dass es bei höheren Druckschwankungen praktisch fast undurchführbar sein dürfte, eine vollkommene Dichtigkeit des Hohlraumes herbeizuführen, wie sie zur Hervorbringung einer nur negativen Schwankung absolut nothwendig ist.

Die Beobachtung, wie durch das auf dem Kolben stehende Oel eine überwiegend negative Schwankung unbeabsichtigt hervor gebracht

wurde, hat mich auf den Gedanken gebracht, durch die Anwendung eines die positive Schwankung eliminirenden Ventiles eine Massagewirkung mit nur negativen Druckschwankungen auch bei nicht vollkommen dichtem Hohlraum zu erreichen. Damit wäre die Möglichkeit gegeben, die gefürchtete Ueberdehnung der Radiärfasern des Trommelfells vollkommen zu umgehen. Man schaltet eben einfach die Nebenwirkung der beim Gebrauche sonst kaum vermeidbaren, positiven Druckschwankungen aus.

Fügt man an irgend einer Stelle des Hohlraumes ein leicht gehendes, sich bei geringem Druck nach Aussen öffnendes Ventil ein, so wird die während der negativen Phase jedesmal eingeströmte Luft, während der positiven, sobald ein geringer Ueberdruck im Hohlraum sich gegenüber der Aussenluft geltend macht, ausströmen. Bei negativem Drucke bleibt das Ventil geschlossen. Diese Wirkung wird sich bei jedem Kolbenspiel wiederholen und damit die positive Phase auf ein Minimum eingeschränkt, die negative vergrössert werden.

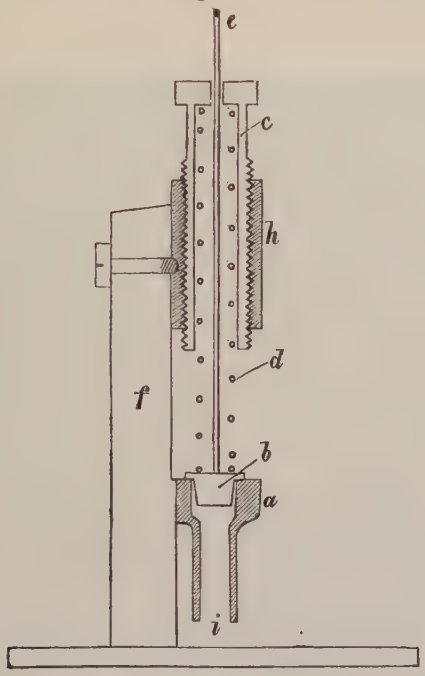
Ich habe mit zahlreichen Ventilformen experimentirt, als Gummi- oder Metallmembranventilen, unbelasteten und belasteten Blatt- oder Spiralfederventilen. Am zweckmässigsten und unbedingt zuverlässig, auch bei schnellem Phasenwechsel erwies sich folgende Construction.

Auf dem massiven Ventilsitz a (Fig. 7) ist ein Ventil b aufgeschliffen, das mit einem längeren, lose in die Ventilbohrung passenden, als Führung nach unten dienenden Zapfen versehen ist. Nach oben ist darauf eine dünne cylindrische Stahlstange befestigt, die dem Ventil eine zweite Führung oben in der Durchbohrung der Federhülse c giebt. Das Ventil wird auf seinen Sitz aufgedrückt durch eine schwache Spiralfeder d, deren Spannung durch mehr oder weniger tiefes Einschrauben der Federhülse c in den Ventilkörper beliebig regulirt werden kann, in Folge dessen sich noch eine beliebig hohe positive Phase erreichen lässt. Das Ganze ist an einem Gestell f befestigt. Die Verbindung mit dem ⊤-Stück des Leitungsschlauches erfolgt durch i.

Die Wirkung dieses Ventils ist eine sehr vollkommene, wie aus den auf Tafel VI gezeichneten Curven höchster Drucke hervorgeht, die bei 1005 Rotationen in der Minute bei Huben von 2—20 mm erreicht wurden. Die Curve bei a zeigt die negative, bei b die positive Phase an. Die bei c auslaufende punktirte Linie zeigt das Ansteigen der negativen Drucke bei dichtem Hohlraum und ohne Berücksichtigung des Einflusses der Luftreibung und der Aenderung des Schlauchvolumens bei Gleichheit der Druckphasen. Die Linie bei e ist die Ideallinie bei

rein negativer Schwankung, die bei d giebt die positiven Schwankungen bei Gleichheit der Phasen wieder. Man sieht, dass Curve a wesentlich tiefer herabreicht, als c. Das am Ende zwischen Hub 14—20 mm sich zeigende Abflachen der Curve dürfte wohl dem Einfluss des ganz zusammenfallenden Gummischlauches zuzuschreiben sein. Die positive Curve zeigt auch bei den grössten Kolbenhuben nur ein minimales Ansteigen.

Fig. 7.



Durch diesen Apparat wird die Absicht mit nur negativer Phase unter allen Umständen massiren zu können, praktisch vollkommen erreicht.

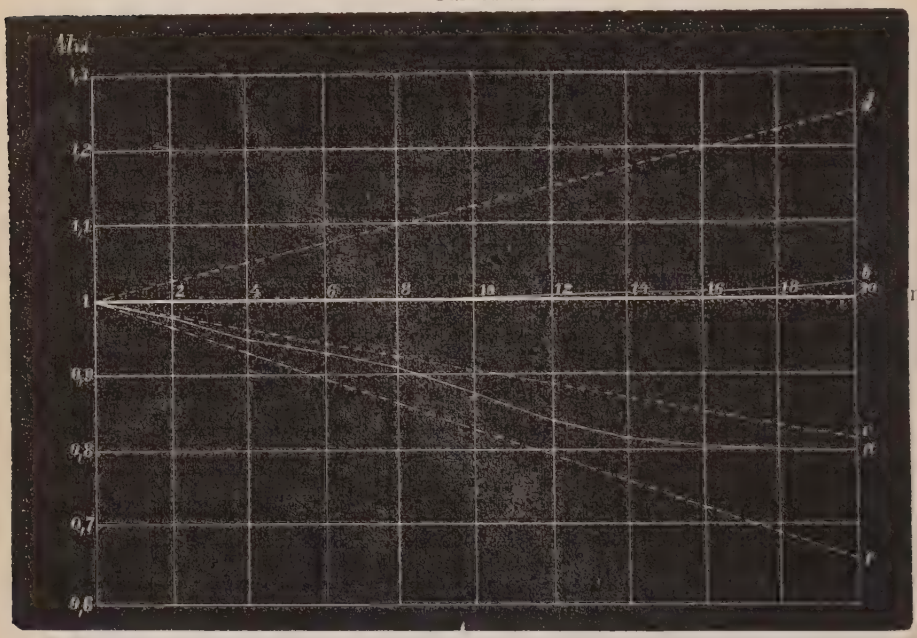
Der im theoretischen Theil der Arbeit beschriebene Druckregulator, d. i. eine Vorrichtung, mit der man durch Veränderung des Gesammthohlraumvolumens, während der Apparat in Bewegung ist, die Höhe der Druckschwankungen und die Art der entstehenden Druckphasen nach Belieben ändern kann, hat sich als vollkommen zweckentsprechend gezeigt.

Es bestand aus einem 50 ccm enthaltenden Messingcylinder, in dem ein dichtschliessender Kolben durch eine in je 10 ccm eingetheilte

Stange vorgeschoben wurde, so dass das eingeschlossene Luftvolumen zwischen 0 und 50 ccm betrug. Es wurde mit ⊤-Rohr in die Schlauchleitung eingefügt. Bei feststehendem Hube von 10 mm wurden alle die Drucke, welche zwischen 10 und 3 mm Hub sonst entstehen, erreicht.

Auch das Sinken der Höhe der Druckschwankungen, die Möglichkeit aus einer in die andere Druckphase überzugehen, erfolgte genau so, wie es theoretisch erörtert wurde. Der einfache Apparat dürfte sich bei der praktischen Anwendung der Massage als nützlich erweisen.

Curventafel VI.



II. Untersuchung der Wirkung der Luftdruckschwankungen auf den Schallleitungsapparat.

Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, haben sich Ostmann sowohl, wie Lucae, zur Untersuchung der Bewegung der Ossicula sehr feiner Glasfäden bedient, um aus der Linie, die das freie Ende der Schreibsonde auf einer gleichmässig rotirenden Schreibfläche aufzeichnete, Rückschlüsse auf die Bewegung der Theile zu machen, auf denen sie befestigt war.

Es ist zu untersuchen: erstens, was kann die Sonde überhaupt von der Bewegung der Ossicula aufzeichnen, falls die Uebertragung der Be-

wegung eine vollkommene ist; zweitens, ist die Uebertragung der Bewegungsform durch die Sonde eine vollkommene, oder sind hier Fehlerquellen vorhanden, die nicht abschätzbar und auch nicht corrigirbar sind?

Mit einer Linie in einer Ebene lassen sich im Allgemeinen nur diejenigen Bewegungen vollkommen aufzeichnen, die in einer Ebene stattfinden. Wir wissen aus den Untersuchungen von Helmholtz[1]), Buck[2]), Kessel[3]), Kessel und Mach[4]), Henke[5]), dass bei Hammer, Amboss und Steigbügel die Bewegung sich nicht in einer Ebene vollzieht, vielmehr sind alle diese Bewegungen dreiachsig. Die Bewegungen, die zur Schreibfläche senkrecht stehen, werden überhaupt nicht registrirt; die schräg dazu stehenden ausserordentlich manigfachen Verzeichnungen erleiden, wenn die biegsame Sonde dadurch fester auf die Fläche aufgedrückt wird, oder sie werden nicht registrirt, wenn die Bewegung eine Entfernung des Schreibsondenendes von der Russfläche zur Folge hat. Aber auch die Bewegungen in einer Ebene sind unmöglich aus der geschriebenen Curve zu deuten, da es sich bei Hammer und Amboss nicht nur um einfache Drehbewegungen, sondern auch um gleichzeitiges Heben und Senken, Vor- und Rückwärtsgehen handelt, es besteht eben keine feste Achse (Hensen). Beim Steigbügel entsteht ein Vor- und Zurückschieben, verbunden mit gleichzeitiger Drehung. Diese Bewegungen fallen beim Aufzeichnen von kleinen Amplituden, wie sie durch Schallschwingungen bei den Versuchen Politzer's[6]) und Lucae's[7]) erregt wurden, nicht so sehr ins Gewicht, besonders, da es sich bei diesen Versuchen mehr um Aufzeichnung des Rhythmus der Bewegungen der Ossicula, als um eine analytische Klärung ihrer Bewegungsform handelte.

Wir wollen jedoch bei unseren Untersuchungen genau die Bewegung der Ossicula selbst, die Beanspruchung der Gelenke und Bänder,

---

1) Helmholtz, l. c.

2) Buck, Untersuchungen über den Mechanismus d. Gehörkn. A. f. Augen- und Ohrenhlkd., Bd. I.

3) Kessel, Ueber den Einfl. d. Binnenmuskeln der Paukenhöhle auf die Bewegungen u. Schwingungen des Trommelfells am toten Ohre. A. f. O., Bd. 8, pag. 83.

4) Kessel u. Mach, Topogr. u. Mech. d. Mittelohrs. Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wissensch., Wien, Bd. 69, III, pag. 221.

5) Henke, Der Mechanism. d. Gehörkn. M. f. O. Bd. II, p. 95.

6) Politzer, A. f. O., I. 59.

7) Lucae, A. f. O., I, 303.

und schliesslich die Bewegung des Trommelfelles selbst kennen lernen. Von all dem giebt uns die Sonde theils ein verzerrtes Bild, theils gar keine Auskunft.

Sie hat aber noch weitere Fehler. Wie in der Einleitung erwähnt, ist sie von Helmholtz[1]), Buck[2]), Mach und Kessel[3]), Schmiedekam und Hensen[4]) bei akustischen Untersuchungen verworfen worden, theils weil sie besondere Schwingungen durch Knotenbildung entstehen lässt, theils, weil ihr mit enormem Hebelarm wirkendes Gewicht nachweislich die durch Schallwellen erregten Schwingungen verändert.

Um diese beiden letzteren Missstände vermeiden zu können, war mir der Gedanke gekommen, die biegsame, gewichtige Sonde durch den gewichtlosen, unveränderlich geraden Strahl des Lichtes zu ersetzen.

Es wird am Hammerkopf und an zweckmässigen Stellen von Amboss oder Steigbügel ein sehr kleines Bruchstück eines versilberten Deckglases als Spiegelreflector befestigt.

Auf dieses fällt ein Strahl parallelen Lichtes (Sonnenlicht durch den Heliostaten, oder durch ein Beleuchtungssystem parallel gemachtes Licht einer kräftigen elektrischen Bogenlampe). Der durch den kleinen Spiegel am Hammerkopf reflectirte Strahl wird dann auf einem rotirenden Spiegel geworfen und analysirt. Vom rotirenden Spiegel geht er durch das Objectiv einer photographischen Camera und schreibt auf der Trockenplatte die Bewegungen der Gehörknöchelchen auf.

Es fehlte mir jedoch bis jetzt eine intensive Lichtquelle, um diese Idee ausführen zu können. Ich hoffe sie jedoch in nicht zu ferner Zeit zum Aufschreiben der minimalen Bewegungen des Schallleitungsapparates bei schwachen oder hohen Tönen verwenden zu können. Sie wird sich, da durch Vergrösserung der Spiegelabstände der Weg des Spiegelbildes enorm gross genommen werden kann, höchst wahrscheinlich sehr gut dazu verwerthen lassen.

Ausserdem dürfte das Fehlen jeglicher Reibung ein Ansprechen auch bei kleinsten Amplituden ermöglichen.

---

[1]) Helmholtz, Verh. d. naturhist. med. Vereins, Heidelberg, Bd. IV, p. 63, 1869.

[2]) Buck l. c.

[3]) Mach u. Kessel. l. c.

[4]) Schmiedekam u. Hensen, Experimentelle Studien z. Physiologie d. Gehörorg. (Arbeit a. d. Kieler phys. Instit. 1868). Ref. A. f. O., Bd. VI, p. 164 von Fick.

Ein Analogon zu dieser unabhängig entstandenen Idee, fand ich später in der von Appunn[1]) zur Bestimmung der Schwingungszahl hoher Pfeifen auf optischem Wege angewandten Methode.

So blieb mir zur genauen Beobachtung aller sich vollziehenden Bewegungen nur die directe Beobachtung durch das Mikroskop übrig.

Mach und Kessel[2]) haben durch ihre schönen stroboskopischen Methoden den Weg gezeigt, wie man schnelle, regelmässige Bewegungen auch unter dem Mikroskope genau verfolgen kann. Die Hauptbedingung, dass sich die Bewegung schnell und regelmässig vollziehe, ist bei dem elektrischen Antrieb der Luftpumpe gesichert. Die Untersuchung der Umdrehungszahl mit der Sirene hat ergeben, dass die Bewegung auch für längere Zeit gleichmässig schnell erfolgt. Die nöthige Schnelligkeit der Bewegung ist auch vorhanden, da schon bei 1000 Umdrehungen in der Minute über 16 Doppelschwingungen in der Secunde erfolgen, bei 3060 aber 51.

Die Luftdruckänderungen im Hohlraum vollziehen sich also mit der Gleichmässigkeit von Stimmgabelschwingungen. Man könnte daher die Bewegung einer langsam schwingenden Stimmgabel zur Unterbrechung des Beleuchtungsstrahles benutzen. Das wäre jedoch insofern sehr unbequem, als man dann immer mit der Geschwindigkeit der Kolbenhubzahl sich nach der Stimmgabel richten müsste.

Ich benutzte daher einen zweiten Elektromotor zur Unterbrechung des Lichtstrahles.

Die Anordnung des Untersuchungsapparates ist nun folgende (Abbildung am Schluss der Arbeit):

Eine starke Lichtquelle (10) (Leuchtgas-Sauerstoff-Kalklicht) ist hinter einem Blechschirm so aufgestellt, dass sie ihr Licht in wenig nach aufwärts gehender Richtung durch einen rechteckigen, 1 : 3 cm grossen, der Länge nach horizontal gelagerten Spalt fallen lässt. Etwa 0,5 cm davon rotirt eine auf der Achse eines J-Ankers sitzende, vertical stehende 25 cm grosse geschwärzte Blechscheibe (9), die nahe ihrer Peripherie einen ebenfalls 1 : 3 cm grossen, der Länge nach radiär stehenden Spalt besitzt. Die beiden Spalte decken sich während des Rotirens der Scheibe einen Moment lang vollkommen. Es fällt dann ein heller Lichtstrahl durch, der auf einen, auf Stativ allseitig bewegbaren Hohlspiegel (8) fällt. Dieser wirft die gesammelten Strahlen auf

1) Annal. f. Phys. u. Chem. 1899. Bd. 303, pag. 217.
2) Mach u. Kessel, l. c.

das Präparat. Für die übrige Zeit der Rotation der Scheibe bleibt das Gesichtsfeld vollkommen dunkel.

Das Präparat wird durch weichen Kupferdraht befestigt auf der vielfach durchlöcherten Endplatte eines enorm schweren Kugelgelenkes (6). Die Beobachtung geschieht durch das grosse stereoskopische Präparirmikroskop nach Braus-Drüner (7), von Zeiss.

Gilt es die Bewegungsamplitude zu messen, so wird das Doppelobjectiv aus dem Mikroskop entfernt und mit Ocularmikrometer und mikrophotographischem Objectiv 42 mm von Leitz die Messung vorgenommen. Der Werth des Abstandes der einzelnen Theilstriche beträgt 55 μ.

Die ausserordentliche Plasticität des Bildes bei stereoskopischem System erleichtert die Beobachtung ganz enorm. Die Vergrösserung war 26 fach.

Die Verbindung des Massageapparates mit dem äussern Gehörgang wurde durch ein kurzes, mit plastischem Siegellack (Helmholtz) überzogenes Rohr sehr sicher und vollkommen dicht hergestellt.

Der Massageapparat und der Unterbrechermotor erhielten jeder einen Accumulator mit besonderem Rheostaten (11 u. 12). Zuerst wurde der Massageapparat angelassen, mit Sirene (1) und Pfeife (2) auf eine bestimmte Umdrehungszahl eingestellt, die Manometerstände notirt, dann nochmals die Umdrehungszahl geprüft und schliesslich der Unterbrechermotor in Bewegung gesetzt. Die Einstellung des zu untersuchenden Abschnittes war zuvor erfolgt, indem die beiden Schlitze zur Deckung gebracht wurden. Man beobachtet dann zunächst makroskopisch die Bewegung der Ossicula, indem man unter Benutzung des Rheostaten den Unterbrechermotor immer schneller umlaufen lässt. Während des Anfangs in längerer Pause erfolgenden Aufleuchtens sieht man die Knöchelchen sehr schnell sich bewegen, ohne Details erkennen zu können. Allmählich scheint dann bei etwa 12 Umdrehungen in der Secunde die Beleuchtung gleichmässig zu werden, das störende starke Flimmern hört fast auf und die Bewegungen der Ossicula werden scheinbar immer langsamer, bis sie, wenn die Motoren genau gleich schnell umlaufen, sich scheinbar in vollkommener Ruhe befinden. Man kann dann durch Handhabung des Rheostaten sich jede Phase der Bewegung beliebig lange vorführen.

Zu bemerken ist noch, dass Massageapparat, Unterbrecherapparat und Mikroskop, jedes auf einem festen Tisch für sich stehen muss, die sich nicht berühren dürfen und am besten auf gemauertem Boden

stehen. Setzt man Massageapparat und Präparat auf denselben, wenn auch noch so schweren Tisch, so ist ein die exacte Messung vollkommen unmöglich machendes Schwingen von Mikroskop und Präparat nicht zu vermeiden. (In der Abbildung sind die drei Tische weggelassen).

Bei schneller Bewegung wird die Helligkeit der Beleuchtung des Präparates nicht unbeträchtlich vermindert, so dass die genaue Erkennung der Scala des Objectmikrometers einige Schwierigkeiten trotz der Verwendung des hellen Kalklichtes macht; das Präparat selbst ist vollkommen deutlich auch bei diesen höheren Geschwindigkeiten zu sehen. Um eine Controlle der Messung zu haben, wurden die mit stroboskopischer Beobachtung erhaltenen Resultate nach der Beobachtungsmethode von Buck nachgemessen, indem ich bei ruhig offenstehendem Schlitz die Länge glänzender Schwingungsstreifen an den betreffenden Punkten nochmals mass, doch liess sich ein merklicher Ablesungsfehler nicht nachweisen.

Zunächst schien es mir geboten, durch directe Beobachtung den Nachweis zu bringen, dass die unregelmässigen Curven, die sich am Ende der Bewegung des Hammerkopfes nach auswärts bilden, und die von Ostmann auf ein durch Ueberdehnung der elastischen Fasern des Trommelfells herbeigeführtes Wiedereinwärtsrücken des Hammerkopfes bezogen werden, Eigenschwingungen der Sonde sind.

War die Annahme richtig, dass es sich in diesem Falle nur um Eigenschwingungen der Sonde handelte, so mussten natürlich diese Schwingungsfiguren gerade so gut auch am Ende der Einwärtsbewegung des Hammerkopfes entstehen.

Bei den von Ostmann mitgetheilten Curven sind sie nämlich oben, also am Ende der Auswärtsbewegung des Hammerkopfes stärker ausgesprochen, als am Ende der Einwärtsbewegung.

Liess ich nun Sonden, die auf den Hammerkopf aufgekittet waren, bei der Bewegung durch Pneumomassage frei schwingen, so konnte ich die verschiedenartigsten Schwingungscurven beobachten. Bei langsamem Beginn der Schwingungen waren sie pendelartig, mit wachsender Hubwechselzahl wurden die Excursionen immer ausgiebiger. Dann bildete sich plötzlich ein Schwingungsknoten, die Schwingungsamplitude wurde wesentlich kleiner, sank bis auf $^1/_3$ und weniger, zugleich beschrieb das Sondenende die mannigfaltigsten Curven, genau wie sie das Kaleidophon von Weathstone[1]) liefert. Ich benutzte dabei kurze, lange,

[1]) cf. Müller-Pouillet, Bd. I, pag. 756. Aufl. 9.

dicke, dünne, solide und hohle Sonden und erzielte bei jeder andere Schwingungsformen.

Stroboskopisch liessen diese sich nicht untersuchen; während sich der Hammerkopf ruhig hin und her bewegte in der gleich zu beschreibenden Weise und das feste Ende der Sonde die Bewegungen ruhig mitmachte, so dass ich die Bewegung nicht einen Moment aus dem Auge verlor, verschwand das freie Sondenende in einem Lichtschimmer, der sich auch bei beschleunigtem Gang der Unterbrecherscheibe nicht analysiren liess, ein Beweis dafür, dass sich diese Bewegungen unabhängig von denen des Hammergriffs vollziehen.

Liess ich die Sonde auf einer mit Russ überzogenen Glasplatte schreiben, die mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegt wurde, so richtete sich die Höhe der Curven weniger nach der angewandten Druckschwankung, als vielmehr nach der Dicke der Russschicht und dem Maasse, wie fest die Sonde der Platte aufgedrückt wurde. Danach richtete sich insbesondere auch die Zahl und Grösse der Ausschwingungsfiguren. Stand die Platte nun genau in der Ebene, in der die Hauptbewegung des Hammerkopfes nach auswärts und einwärts erfolgte, so fielen die Ausschwingungsfiguren an jedem Ende der Bewegung gleichartig aus. War jedoch die Platte etwas schräg zu der Ebene der Hauptschwingungsrichtung des Hammers gestellt, stand z. B. die Platte dem Punkt, wo die Einwärtsbewegung des Hammerkopfes endet, näher, als dem, wo die Auswärtsbewegung aufhörte, so blieb zwar das Schreibende der Sonde auf der Platte, machte jedoch, da hier seine Reibung auf der Platte geringer war, eine Reihe von Schwingungsfiguren durch, die auf der andern Seite, wo sie fester aufgedrückt wurde, wegblieben.

Aehnliche Verhältnisse waren bei der von Ostmann getroffenen Schreibanordnung vorhanden. Die Sonde schrieb hier auf den Mantel eines Cylinders. Da sie selbst einen Kreisbogen beschreibt, so ist es nicht möglich, dass sie auf der höchsten Linie parallel der Cylinderachse schreibt, sondern sie muss in Folge ihrer Kreisbewegung am Ende der Excursion auf einem tiefer gelegenen Punkte der Mantelfläche des Cylinders liegen, als in der Ruhelage. Die Folge davon ist, dass sie am Ende der Excursion dem Cylindermantel nur locker aufliegt, während sie zu Beginn derselben fester aufgedrückt war; dieser Fehler liegt in der Natur der kreisförmigen Schreibfläche begründet und ist auf keine Weise zu beseitigen, es sei denn, dass man statt des Cylindermantels, die ebene Platte als Schreibfläche benutzt. Die von Ost-

mann mitgetheilten Curven, besonders auch diejenige [1]) bei der er aus der Form der Curve auf eine Ueberdehnung der Radiärfasern schliesst, zeigen sehr deutlich dieses Abheben der Schreibsonde vom Cylindermantel an der oberen Seite, wo die Sonde der Schreibfläche so lose aufgelegen hat, dass sie über dieselbe weghüpft und nur noch eine punktirte Linie zu Stande bringt. Die untere Seite der Curve ist regelmässig scharf ausgezogen, da dort die Sonde der Schreibfläche fest genug anlag. Die stroboskopische Beobachtung des Hammerkopfes während der Dauer der Schreibarbeit der Sonde ergab auch bei grösseren Kolbenhuben keinerlei Anhalt für die Annahme, dass der Hammerkopf nach Erreichung der weitesten Aussenstellung in Folge von Ueberdehnung der Radiärfasern wieder kurz einwärts ging und erst beim Nachlass der zu hohen Spannung wieder die Endlage nach aussen hin erreichte.

Nach alledem ist der Beweis erbracht, dass die Sonde vollkommen andere Bewegungen aufzeichnet, als sie der Hammerkopf, auf dem sie befestigt ist, ausführt. Sie ist daher unbedingt zu verwerfen; die von Ostmann auf der Form der Curven gezogenen Schlüsse haben keine Gültigkeit und die von Lucae gegebene Erklärung, dass es sich um Nachschwingungen handle, ist durch die directe Beobachtung bewiesen.

Ich verwandte daher zur weiteren Untersuchung nur noch die directe Beobachtung.

Excursionsgrösse des Hammerkopfes.

Zunächst erschien es mir wichtig zu wissen, in wie weit sie sich unter sonst gleichen Umständen ändern würde bei Verschluss der pneumatischen Mittelohrräume und bei Offenstehen derselben gegenüber der Aussenluft. Ich legte daher den Hammerkopf unter Schonung des Ligament. mall. sup. zunächst so weit frei, dass ich ihn gut übersehen konnte und schloss dann die im Tegmen tympani gesetzte Oeffnung mit einem Stück Deckglas, das mit Harzkitt vollkommen dicht am Rande des Defectes festgeklebt wurde. Der Hammerkopf liess sich nun sehr gut durch dieses Fenster beobachten; das eintretende Beschlagen des Fensters wurde leicht durch Darüberhalten eines heissen Metallstabes beseitigt.

Bei der Beobachtung stellte es sich heraus, dass die Excursionsbreite nur von der Höhe der Druckschwankung, nicht aber von der Frequenz derselben abhing. Der Hammerkopf schwang unter gleichen

1) A. f. O., Bd. 45, pag. 44. Curve I. A.

Druckschwankungen gleich weit bei 750 wie bei 3060 Schwingungen in der Minute.

Ich habe daher später meist bei 1005 Umdrehungen untersucht und bei verschiedenem Hube, nur die Höhe der Druckschwankungen, als das maassgebende, wurde jedesmal abgelesen.

Die Excursionsbreite eines Punktes auf Hammerkopf stieg bei geschlossener Pauke und $\pm$ 8 mm Hg (Hub 2 mm) von 0,495 mm allmählich proportional den wachsenden Druckschwankungen auf 0,77 mm bei $\begin{matrix} + 80 \\ - 90 \end{matrix}$ mm Hg (Hub 12 mm) und blieb von da ab constant, bis mit + 110 — 120 mm Hg (Hub 20 mm) das Maximum der Druckschwankungen erreicht wurde.

Wandte ich das Rückschlagventil zur Erzielung einer nur negativen Druckphase an, so betrug die Excursionsbreite bei + 1 — 20 mm Hg (Hub 2 mm) 0,55 mm und erreichte bei + 3 — 140 mm Hg (20 mm Hub) allmählich das Maximum von 0,72 mm.

Wurde das abschliessende Fenster von dem Paukendach entfernt, so betrugen bei denselben positiv-negativen Druckschwankungen die Excursionsbreiten zwischen 0,6—0,77 mm, bei den gleichen nur negativen Schwankungen 0,65—0,72.

Man sieht, dass ein Abschluss der Pauke nur bei den niedrigen Druckschwankungen eine merkliche Verringerung der Excursion des Hammerkopfes herbeiführte. Bei den stärkeren Druckschwankungen wurde offenbar die Bewegungshemmung auf anderem Wege früher herbeigeführt, als der Einfluss der entstehenden Druckschwankung in der Pauke hindernd sich hätte geltend machen können.

Ich eröffnete bei geschlossenem Paukendach eine kleine Corticaliszelle an der Spitze des Proc. mastoid. Durch die feine Oeffnung trat während der Massage unter hörbarem Zischen die Luft ein und aus, ein Beweis dafür, dass durch die Massage auch Luftdruckschwankung in allen Mittelohrräumen auftreten. Diese Druckschwankungen in den Hohlräumen des Felsenbeins machen sich bei langsamerem Druckschwankungswechsel sehr weit bemerkbar. Ich konnte sie mit Glascapillaren und Flüssigkeitstropfen noch medial vom verticalen Bogengange nachweisen. Bei schnellem Wechsel wird dagegen in den durch capillarfeine Zugänge mit den grösseren Hohlräumen in Verbindung stehenden Zellen wegen des Widerstandes, den die Capillarräume der Luftbewegung bieten keine Druckschwankungen entstehen können. So blieb die Bewegung des

Wassertröpfchens in der eben erwähnten Capillare bei schnellem Hubwechsel (über 1000) vollkommen aus.

Die Thatsache, dass sämmtliche Hohlräume jenseits des Trommelfells an den Druckschwankungen vor demselben Theil nehmen, ist praktisch von grosser Tragweite. Die Druckschwankungen haben einen grossen Einfluss auf die Blut- und Lymphcirculation im Felsenbein und die Fläche, auf die man, besonders bei nicht zu schnellem Hubwechsel, einwirken kann, ist eine sehr bedeutende. Nur müssen die Bewegungen des Trommelfells einigermaassen ausgiebige sein. Das kann man ohne das Labyrinth starken Drucken auszusetzen, nur durch Arbeiten mit stärkeren negativen Druckschwankungen erreichen, wie sie das Rückschlagventil practisch allein ermöglicht. Die Einwirkung auf die Circulation auch in der Tiefe des Felsenbeins scheint mir eine Erklärung zu geben für die günstige Beeinflussung, die die Massage bei fixirtem Stapes manchmal auf das Sausen ausübt.

Die in den Mittelohrräumen auftretende Höhe der Druckschwankungen habe ich nicht gemessen wegen der Schwierigkeit, die in der Herstellung eines Kundt'schen Ventiles und Manometers liegt, die im Verhältniss zur Grösse der Mittelohrräume einen verschwindend kleinen todten Raum haben müssten. Eine solche Messung scheint mir auch bei der weitgehenden Verschiedenheit der Grösse normaler Hohlräume des Felsenbeins keinen Werth zu haben.

Ich versuchte dann nach dem Vorgang von Politzer und Helmholtz die Gesammtleistung der Bewegung der Stapesplatte durch Messung der Verschiebung des Flüssigkeitsmeniscus in einer auf den eröffneten verticalen Bogengang aufgekitteten Glascapillare direct zu messen. Ich gelangte jedoch nicht zu brauchbaren Resultaten, da sich der Stand der Capillarflüssigkeit bei völlig gefüllter Capillare während der Massage, wohl durch Abfluss des Wassers aus den Labyrinthwasserleitungen fortwährend veränderte und zurückzog, während die Einschaltung einer kleinen Luftblase zwischen Capillarflüssigkeit und Bogengang schon bei mässigen Schnelligkeiten des Druckwechsels die Bewegung der Capillarflüssigkeit anscheinend durch ihre Elasticität wesentlich modificirte, ich bekam bei schnellen und grossen Steigbügelexcursionen kaum merkliche Bewegungen der Capillarflüssigkeit, dagegen bei langsamen und kleinen Bewegungen des Steigbügels grosse Schwankungen in der Capillare. Ich konnte jedoch, wenn die Flüssigkeit der Capillare mit der Labyrinthflüssigkeit communicirte, beim plötzlichen Uebergang von nur negativer zu positiv-negativer Phase (durch Zuhalten

des Ventils) stets ein energisches Nachauswärtsrücken der Flüssigkeit in der Capillare beobachten. Dies beweist, dass mit Eintreten der positiv-negativen Schwankung eine erhebliche Belastung der Labyrinthflüssigkeit während der positiven Druckphase eintrat, die bei der mit Hülfe des Ventils erzielten, nur negativen Schwankung vermieden werden kann.

Auch am Hammerkopf liess sich bei Eintritt der positiven Phase ein Nachauswärtsrücken der Schwingungslinie um 0,1—0,2 mm jedes Mal feststellen.

Die Excursionen am Ende des Hammergriffs betrugen bei ± 8 mm (2 mm Hub) 0,57 ansteigend bis auf 1,12 mm bei + 106 — 120 mm Hg (20 mm Hub). Bei nur negativer Phase — 10 mm Hg (2 mm Hub) war der Ausschlag 0,55 mm und stieg bis auf 0,99 mm bei — 140 mm Hg (20 mm Hub). Da die Drehung des Hammers nahezu in seiner Mitte erfolgt, so ist der grössere Ausschlag, den ich am Ende des Manubrium constant gegenüber dem Hammerkopf constatirte, wahrscheinlich auf Nachgiebigkeit, möglicher Weise aber auch auf Dehnung des Achsenbandes zurückzuführen.

Ein am Tensor tympani ausgeübter Zug vermochte den Ausschlag des Hammergriffendes bei negativer Schwankung von 0,55 mm auf 0,01 mm zu verkürzen, von 0,67 auf 0,017, von 0,77 auf 0,22 mm. Bei stärkeren Bewegungen des Manubrium blieb es nach kräftigem Zug am Tensor bei 0,22 mm Excursionsbreite des Hammergriffendes.

Messung der Stapesexcursionen.

Ein Begriff von der vom Stapes geleisteten Gesammtwirkung lässt sich nur durch Messung des durch die Bewegung verdrängten Flüssigkeitsvolumens geben. Meine dahin zielenden Versuche sind missglückt. Einen annähernden Anhaltspunkt für die Leistung kann man dadurch gewinnen, dass man die Bewegung von zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen aus beobachtet und misst.

Die eine Beobachtung erfolgte von der Seite, von der Tube aus. Ein glänzender Punkt des Köpfchens beschreibt von da aus gesehen einen kurzen Kreisbogen nach oben hin, ungefähr um die untere Insertion der Platte als Achse. Die Länge der Bewegungslinie betrug ± 8 mm 0,165 mm, gleichmässig ansteigend auf 0,305 mm bei + 110 — 120 mm Hg.

Bei nur negativer Schwankung war der Ausschlag bei — 10 mm Hg = 0,165 mm und stieg bei — 146 mm auf 0,23 mm. Ging ich plötzlich

zur positiv-negativen Phase über, so erfolgte schon bei niedrigen Drucken ein sofortiges Einwärtsrücken des Stapes, bei stärkeren (+ 70 — 75 mm Hg) ergab sich eine sofortige Zunahme des Ausschlages nach oben hin um 0,06 mm.

Bei der Beobachtung von oben her bildete die Bewegung eines glänzenden Punktes anscheinend eine zur Basis des Stapes senkrechte Linie.

Ihre Länge betrug bei ± 8 mm Hg 0,072 mm und wuchs auf 0,31 bei + 110 — 120 mm Hg.

Dagegen betrug sie bei — 12 mm Hg 0,06 mm und stieg auf 0,11 bei — 140 Hg bei nur negativer Schwankung.

Bei plötzlichem Uebergang zu positiv-negativer Schwankung liess sich gut sehen, wie jedesmal der Steigbügelkopf dem Objectiv näher rückte.

Die Bewegungen des Stapes waren somit genau dieselben, wie sie Buck (l. c.) bei starken Schallschwingungen beobachtet hat, nur waren sie weit ausgiebiger. Ferner ergiebt sich, dass bei positiv-negativen Schwankungen der Stapes weit grössere Excursionen macht, als bei grössern negativen Drucken und ganz besonders, dass diese grössere Ausgiebigkeit der Bewegungen nur durch Zunahme der Innenexcursion zu Stande kommt.

Stroboskopische Beobachtung der Bewegungserscheinungen.

Das Trommelfell wurde, während die Kette in situ blieb, durch Abtragen der medialen Tubenwand und eines Theils des Promontorium soweit freigelegt, dass sein vorderer und unterer Abschnitt frei von innen her zu übersehen war.

Bei der Massage mit positiv-negativer Schwankung läuft die Bewegung so ab:

Bei positiver Phase erfolgt Abflachung des nach dem Gehörgang zu gewölbten Trommelfells, die bei ± 8 mm gering ist, mit wachsenden Druckschwankungen zunimmt und bei + 75 — 80 mm Hg (12 mm Hub) erst zur vollkommenen Streckung am Ende der positiven Phase führte. Selbst bei + 120 mm Hg (20 mm Hub) trat keine Ueberstreckung ein. Nur bei einem Präparate wurde das Trommelfell an einzelnen Punkten schwach convex nach innen gedrängt. Diese Erscheinung ist auch bei akustischer Erregung des Trommelfells von Mach und Kessel (l. c.) beobachtet worden, ist aber nicht als Ueberanstrengung der Radiärfasern

sondern als eine Eigenthümlichkeit, die noch innerhalb der physiologischen Beweglichkeitsgrenze liegt, aufzufassen.

Ging ich nämlich nach Anwendung dieser hohen Druckschwankung wieder zu geringerer über (+ 70 mm Hg), so erfolgte wieder die Abflachung bis zur Geraden oder die vorher nach dem Gehörgang zu concav gewordenen Parthien blieben convex, ein sicherer Beweis dafür, dass die Radiärfasern nicht über ihre Elasticitätsgrenze hinaus beansprucht worden waren.

Die Bewegung nach aussen bei negativer Phase bietet nichts Bemerkenswerthes; das Trommelfell wird mit Zunahme der Höhe des Druckes der negativen Phase immer stärker convex nach dem äusseren Gehörgang hin. Das Ende des Hammergriffs steht auf der Höhe der Phase stark nach innen vor.

Der Ablauf der gesammten Bewegung bei positiv-negativer Phase vollzieht sich in der Weise, dass aus der Ruhelage die äusserste Innenlage schnell erreicht wird, dann bleibt das Trommelfell eine Zeit lang fast unbeweglich stehen, um wieder schnell durch die Ruhelage gehend, die dem Druck entsprechende maximale Aussenlage zu erreichen. Dort besteht wieder eine Zeit lang Ruhe, dann schnelle Umkehr in die Innenlage und so fort. Die Bewegung des Trommelfells vollzieht sich im Wesentlichen also ruckweise.

Wenn man sich die ungleichmässige Bewegung, die der Kolben durch seine Abhängigkeit von der Kreisbewegung der Kurbel erhält, vergegenwärtigt, so ist diese Erscheinung erklärlich. Die Trommelfellbewegung vollzieht sich während des Druckphasenwechsels, also auf dem Punkte der Kolbenbahn, wo der Kolben seine höchste Geschwindigkeit besitzt. Zu dem Uebergang des Trommelfells von einer Endstellung in die andere ist nur ein geringer Druckunterschied nöthig, besonders da sich der Hammer ein bedeutendes Stück in Folge seines Sperrzahngelenkes frei bewegen kann. Die dann noch weiter erfolgende langsame Dehnung des Trommelfells fällt in die Zeit, wo sich der Kolben nur noch langsam bewegt, still steht und zunächst wieder langsam zurückgeht.

Diese ruckweise Bewegung bedingt auch das enorme Ausschwingen der aufgekitteten Glassonde. Besonders von ± 30 mm Hg an ist die Erscheinung sehr ausgesprochen.

Bei der Anwendung nur negativen Druckes vollzieht sich die Trommelfellbewegung etwas anders. Das Mitnehmen des Trommelfells, das hier in die Zeit der langsamsten Kolbenbewegung fällt, erfolgt langsamer. Das Trommelfell wird stark nach innen concav, ruht dann

längere Zeit und geht langsam wieder in Ruhelage. Dort erfolgt eine kurze Pause und das Spiel beginnt von Neuem. Eine Streckung des Trommelfells fällt hier vollkommen weg.

Der Hammerkopf bewegt sich in einem kurzen Bogen nach vorne, verharrt eine Zeit lang ruhig in der Aussenlage, geht dann schnell zurück und bleibt, indem langsam die äusserste Innenlage erreicht wird, auch hier eine Zeit lang ruhig stehen. Bei der Anwendung nur negativer Schwankung ist die bogenförmige Bewegung nicht so ausgesprochen. Bei der positiven Phase lässt sich auch noch ein leichtes Heben des Hammerkopfes bemerken.

Das Ligamentum mallei superius, von Helmholtz als das Hemmungsband für nach aussen gerichtete Bewegungen des Hammerstiels bezeichnet, wurde bei der Massage stark beansprucht. Namentlich bei negativen Druckschwankungen wurde es straff angespannt. Nach seiner Durchschneidung wurde die Exkursion des Hammerkopfes für die negative Phase nicht unbeträchtlich grösser.

Im Hammerambossgelenk trat schon bei geringer negativer Druckschwankung das von Kessel u. Mach (l. c.) beobachtete Schleifen des Hammerkopfes ein. Bei stärkeren Schwankungen wurde diese Erscheinung sehr auffallend. Bei stärkerer positiver Schwankung wurde die obere mediale Parthie des Kapselbandes straff angespannt und es liess sich ein Klaffen der Gelenkspalte an dieser Stelle beobachten. Eine Ueberanstrengung der Gelenkkapsel scheint jedoch dort nicht stattgefunden zu haben, da auch nach längerer Anwendung höchster Drucke keinerlei Erschlaffung oder Lockerung eintrat.

Die obere Parthie des Ligament. mall. ant. spannte sich bei stärkeren positiven Schwankungen straff an. Bei negativer Schwankung war im Ligamentum externum eine Spannung besonders auffällig.

Im Ambosssteigbügelgelenk war bei der Beobachtung von oben während der positiven Phase eine schleifende Bewegung des Processus lenticularis nach vorne hin über den Steigbügelkopf deutlich sichtbar. Die Gelenkkapsel wölbte sich schon bei der Anwendung niedriger positiver Drucke, wenn man sie von vorne her beobachtete, nach unten wulstartig vor. Bei stärkerem positiven Drucke wurde die Vorwölbung stärker, oben war jedoch selbst bei den stärksten positiven Schwankungen nichts davon zu bemerken.

Bei nur negativer Schwankung fiel das Schleifen des Amboss auf dem Steigbügelkopf weg, die Gelenkkapsel wurde straff gespannt und erschien bei stärkeren negativen Drucken schwach concav eingezogen.

Dünne Bindegewebsstränge zwischen den Ossicula und den Paukenwandungen, die sich bei einem Präparate fanden, wurden energisch gedehnt und eine anfängliche Einschränkung der Exkursionsbreite der Ossicula bei stärkeren Druckschwankungen dauernd behoben. Dagegen bildete ein nur 0,3 mm dicker kurzer Siegellackfaden, den ich zwischen Hammerkopf und Nischenwand ausspannte, ein unüberwindliches Bewegungshinderniss, selbst bei Anwendung der stärksten Druckschwankungen.

Fasse ich das, was dis vorliegenden Untersuchungen über die Wirkung der Pneumomassage ergeben haben, kurz zusammen, so ergiebt sich Folgendes:

1. bei gleichem Kolbenhube ist der Charakter der entstehenden Druckschwankungen und innerhalb bestimmter Grenzen auch ihre Höhe abhängig von der Anfangsstellung des Kolbens, vorausgesetzt, dass der ganze Apparat bis zum Trommelfell vollkommen dicht ist.
2. Ist die geringste Undichtigkeit vorhanden, und eine solche ist bei der Ausführung der Massage am Kranken kaum zu vermeiden, so tritt nach einer bestimmten Anzahl von Kolbenschüben, die sich nach der Durchgängigkeit der Nebenöffnung für die Luft richtet, eine positiv-negative Schwankung mit annähernd gleich weit über und unter dem Atmosphärendruck liegenden Druckhöhen auf.
3. Die Erreichung einer nur negativen Schwankung ist mit Sicherheit durch das angegebene Ventil zu erreichen.
4. Die vorhandenen Massageapparate erreichen bei denselben Hubhöhen wesentlich verschiedene Höhen der Druckschwankungen in Folge der Verschiedenheit der Cylinderquerschnitte. Da die beständige Manometerkontrolle bei der Anwendung schwer durchführbar ist, die Wirkung aber ausschliesslich von der erreichten Druckhöhe abhängt, so halte ich es für richtig, dass für sämmtliche Massageapparate, soweit der die Luftdruckschwankungen erzeugende Apparat in Frage kommt, Normalien aufgestellt werden. Dann werden bei gleichen Hubhöhen die Drucke wenigstens annähernd gleich hoch ausfallen, während bis jetzt in der Praxis niemand die Arbeitsleistung seines Instrumentes auf das Trommelfell zu schätzen oder zu dosiren vermochte.

Folgende Normalmaasse scheinen mir zweckmässig:

Cylinderdurchmesser 20 mm, Hub verstellbar zwischen 2 bis 20 mm, Höhe des todten Raumes bei höchstem Hube 3 mm, Schlauchlänge 1 m, bei einem Innendurchmesser von 4 mm und einer Wandstärke von 2—2,5 mm, Volumen des Ansatzstückes oder des Siegle'schen Trichters gleich 5 ccm. Ist der Hub festbegrenzt, so soll er 14 mm betragen und die Regulirung der Höhe der Druckschwankungen durch einen in den Hohlraum eingeschalteten Cylinder erfolgen, dessen Volumen zwischen 0—50 ccm verstellbar ist.

5. Auf das Trommelfell wirkende Druckschwankungen von plus-minus 120 mm Hg werden von diesem, wenn es pathologisch nicht verändert ist. sowie von der Kette der Ossicula ohne Schaden ertragen. Die von Ostmann aufgestellte Behauptung, dass schon bei weit niedrigeren positiven Schwankungen eine Ueberdehnung der Radiärfasern des Trommelfells eintrete, ist unrichtig. Die Unrichtigkeit beruht darauf, dass eine Reihe wesentlicher Fehlerquellen beim Experimente von Ostmann nicht erkannt und nicht vermieden wurden.
6. Dagegen ist die Druckwirkung auf die Labyrinthflüssigkeit bei höheren positiven Schwankungen eine beträchtliche, sie wird vermieden durch die Anwendung nur negativer Schwankungen mit Hülfe des Rückschlagventils. Bei diesen ist die Exkursion des Trommelfells, wie der Kette ebenfalls eine ausgiebige.
7. Bei Anwendung der Pneumomassage kommt es zu nicht unerheblichen Luftdruckschwankungen in den Mittelohrräumen, die sich bei nicht zu schnellen Phasenwechsel auch in weit abliegenden und kleinen Zellen bemerkbar machen. Der Luftabfluss durch die Tube scheint sich nicht so schnell zu vollziehen, dass die Druckschwankung unmerklich werden könnte. Dieselbe bildet, da sie auf eine grosse Fläche zu wirken vermag, einen nicht unbedeutenden therapeutischen Faktor der Pneumomassage und ist für sie charakteristisch im Gegensatz zur Drucksondenmassage.
8. Da bei nur negativer Druckphase die Gefahr für das Gehörorgan nur in dem Entstehen von kleinen Blutergüssen in Trommelfell und Paukenschleimhaut liegt und diese, nach den in der Litteratur vorliegenden Beobachtungen relativ sehr selten sind (mir ist bei vielen hunderten von Fällen nie etwas

derartiges vorgekommen) und keinen grösseren Schaden anrichten, so wird man unter fortwährendem Beobachten des Trommelfells während der Massage, ohne Bedenken in geeigneten Fällen stärkere Druckschwankungen auf das Trommelfell wirken lassen können. Die Ostmann'schen Thierversuche brauchen uns nicht abzuschrecken, sie sind bis auf einen bei Hunden angestellt. Hunde scheinen aber ein leicht lädirbares Gehörorgan zu haben. Schmiedekam u. Hensen (l. c.) haben wenigstens gefunden, dass ein Hundetrommelfell bei 68 cm Hg zerreisst, ein menschliches Trommelfell jedoch 143 cm Hg aushält. Die von Ostmann benutzte Katze kam dagegen ohne schwerere Schädigungen davon.

Will man den therapeutischen Werth der Massage ausnutzen, so muss man eventuell auch zu grösseren Druckschwankungen greifen. Ein retrahirter Tensor tympani bedarf zu seiner Mobilisirung erheblicher Zugkräfte und die störende Wirkung von Bindegewebssträngen kann nur durch Ueberdehnung derselben über ihre Elasticitätsgrenze hinaus beseitigt werden. Schliesslich wird das Entstehen energischer intratympanaler Druckschwankungen nur durch die Anwendung stärkerer Druckschwankungen vor dem Trommelfell zu erzielen sein. Dass jedoch die Anwendung derartig energischer Mittel nur dem vollkommen mit den Krankheiten des Gehörorgans vertrauten Arzte gestattet ist, ist selbstverständlich.

Die Wirkung der Drucksonde auf den Schallleitungsapparat.

Bei der Anwendung der Drucksonde wirkt auf den Processus brevis, also auf einen Punkt des Hammergriffes, der fast vollkommen mit der Achse des Hammers coincidirt, eine Kraft nur in der Richtung nach dem Labyrinthe hin ein, die während der Anwendung des Instrumentes in ihrer Intensität wechselt, jedoch nicht auf Null zurückgeht. Gleich beim Aufsetzen ist die Kraft, mit der das Instrument wirkt, nicht unerheblich, ich möchte die Wirkung in diesem Moment als die Anfangswirkung bezeichnen, ebenso ist die erzielte Bewegung der normalen Kette bei der Anfangswirkung bedeutend. Diese eigenthümliche Wirkung der Sonde ist bedingt durch den Umstand, dass die, als elastischer Widerstand den ungefügen Stoss der Hand aufnehmende, Spiralfeder auch in der Ruhelage schon ziemlich kräftig gespannt ist. Bei dem

von mir benutzten älteren Lucae-Detert'schen Instrument musste ich, wenn ich mit der Sonde senkrecht nach unten auf die eine Schaale einer Waage drückte, auf die andere etwa 20 g auflegen, um den Beginn der Einwärtsbewegung der Sondenstange zu veranlassen; ist sie 1 cm einwärts gedrückt, so halten ihr 40 g die Waage, bei 1,5 cm 55 g. Bei der regulirbaren Drucksonde lagen bei höheren Drucken die Werthe für die Kraft der Anfangswirkung noch wesentlich höher. Es wirken also in dem Moment, wo ich die Sonde aufsetze, bereits 20 g auf den Processus brevis ein. Dieser Druck genügt, um die normale Kette energisch in Bewegung zu setzen und das Achsenband straff zu spannen. Weiterhin steigt der Druck rasch auf 40—55 g, wird jedoch, wofern ich vom proc. brev. nicht abgehe, nie unter 20 g während der Massage wieder heruntergehen. Die beim Aufsetzen erzielte Bewegung wird einen bedeutenden Theil der Gesammtexkursion während der ganzen Massage ausmachen.

Weiterhin ist, wie Ostmann[1]) beweist, die Wirkung des Stosses auf die Kette zum Theil auch abhängig von der Richtung in der die Sonde auf den Processus brevis wirkt. Lässt man sie, soweit dies der äussere Gehörgang gestattet, möglichst von oben wirken, so liegt für die Kraft die Spitze des Processus brevis etwas unterhalb der Hammerachse. Es wird also ein Theil der Kraft zur Drehung des Hammers verwandt. Da nun aber selbst im günstigsten Falle der Abstand des Drehpunktes von der Achse minimal sein wird im Vergleich zum Abstande, den der Hammerkopf von der Achse hat, so muss die im Sinne der Drehung am Hammerkopf wirkende Komponente verschwindend klein ausfallen gegenüber der Kraft, die direkt auf das Achsenband wirkt. Eine praktische Wirksamkeit dieser minimalen drehenden Kraft kann kaum vorhanden sein. Lässt man die Sonde mehr von unten wirken, so wirkt, wie dies Lucae[2]) hervorhebt, die Kraft nur auf das Achsenband und schiebt unter Dehnung dieses Bandes, des oberen Hammerbandes und »des übrigen Bandapparates« die ganze Kette nach innen.

Auch bei der Drucksonde ist eine direkte mikroskopische Beobachtung beim Studium der verwickelten Bewegungserscheinungen der Schreibsonde vorzuziehen. Für das Kennenlernen der Bewegung beim Aufsetzen genügt auch die einfache direkte Beobachtung und Messung allen Anforderungen. Bei schnellerem Massiren lässt sie jedoch den

---

1) Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 45, pag. 64.
2) Lucae, Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 44, pag. 247.

Beobachter im Stich. Wollte ich zur stroboskopischen Beobachtungsmethode greifen, so mussten sich die Bewegungen der Drucksonde ebenso gleichmässig schnell und gleich gross vollziehen, wie die Bewegungen des Trommelfells bei der Pneumomassage mit elektrischem Antrieb. Diese Forderung legte es mir nahe, die Bewegung der Sonde durch die als absolut regelmässig erkannten und geprüften Luftdruckschwankungen des Pneumomassageapparates vollziehen zu lassen.

Die Verwirklichung dieser Idee ist einfach. In einem glatt ausgebohrten Cylinder a (Fig. 8) bewegt sich sehr leicht, aber doch möglichst gut schliessend ein Metallkolben ohne Dichtung b von möglichst geringem Gewicht, der die Drucksonde c trägt. Sie geht durch ein auf dem vorderen Cylinderdeckel aufsitzendes Rohr e, an deren vorderen Ende sie möglichst sicher und reibungsfrei geführt wird. Die Luft der Pumpe wird durch ein Rohr d durch den hintern Deckel des Cylinders zugeführt. Eine feine Spiralfeder f ermöglicht ein elastisches Aufsetzen der Sonde auf den Proc. brevis. Eine zweite Spiralfeder vor dem Kolben, die der ersten entgegenwirkt, hält ihn elastisch in der Mitte des Cylinders fest. Sie tritt bei der Massage selbst ausser Thätigkeit. Die Wirkung des Apparates vollzieht sich so, dass bei positiv-negativer Schwankung der Kolben hin- und herbewegt wird. Die Grösse des auf den kurzen Fortsatz wirkenden Druckes wird dabei einestheils durch den Druck der Spiralfeder f, anderentheils durch die Höhe der angewandten Luftdruckschwankung regulirt. Der Apparat funktionirt noch bei über 3000 Stössen in der Minute vollkommen sicher.[1]) Die Stösse selbst sind so weich und ruhig und geräuschlos, wie sie mit keiner anderen mechanischen Antriebsvorrichtung erreicht werden können.

Mit dieser Drucksonde gelingt auch die stroboskopische Beobachtung der Bewegungen der Kette ohne Schwierigkeiten.

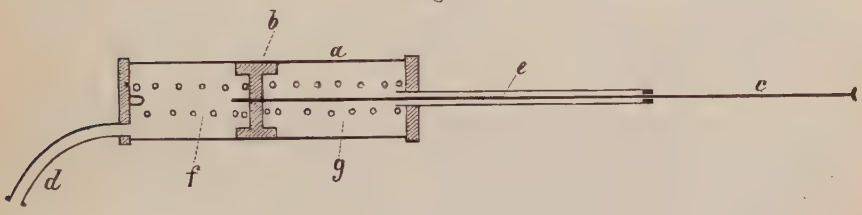
---

[1]) Der Apparat, dessen Construction im wesentlichen auf demselben Princip beruht, wie die von Lucae (A. f. O. 51, p. 16) angegebene elektro-pneumatische Drucksonde, hat sich seit 2½ Jahren in der Heidelberger Univ.-Ohrenklinik bewährt. Da mir in der Vermeidung der unzuverlässigen Gummimembran ein wesentlicher Vorzug vor dem Lucae'schen Apparate zu liegen scheint, habe ich ihn Herrn W. A. Hirschmann zur Ausführung übergeben. Es sind einige wesentliche Aenderungen zur Erleichterung der Handhabung vorgenommen worden, auch habe ich grössere Modelle zur Massage von Nase, Tube etc. construirt. Leider wurde deren Ausgabe durch den Umbau der Hirschmann'schen Fabrik sehr verzögert. Ich hoffe demnächst genaueres darüber berichten zu können.

Die auf den Schallleitungsapparat mit der Drucksonde ausgeübte Wirkung spielt sich nun ab wie folgt:

Der Hammer wird in toto nach dem Labyrinth hin vorgeschoben; die Verschiebung erfolgt so, dass er fast parallel seiner Längsachse sich einwärts bewegt. Die Spitze des Manubrium tritt dabei, wenn der Druck möglichst von oben den Processus brevis trifft, etwas tiefer, auch geht sie etwas weiter labyrinthwärts, als der Hammerkopf. Es tritt also auch eine kleine Drehung ein, deren Centrum jedoch im Hammer-ambossgelenk, nicht im Achsenband zu liegen scheint. Die Spitze des Manubrium nähert sich dabei dem langen Ambossschenkel um ein Beträchtliches. Dies bestätigt eine von Lucae[1]) vor 17 Jahren gemachte Beobachtung, wo eine Zerrung der Chorda tympani bei der Drucksondenmassage eintrat. Lucae erklärte sie als durch ein Ueberwiegen der Innenbewegung des Hammergriffs gegenüber der des langen Amboss-

Fig. 8.



schenkels entstanden. Bei stärkerem Drucken (70 g) wird das Trommelfell besonders in seinen oberen Partien straff angespannt.

Der Hammerkopf tritt gleichzeitig mit dem Manubrium nach innen, aber nicht soweit, wie die Spitze desselben. So beträgt die Bewegung am Hammerkopf 0,1 mm, die am Ende des Manubrium 0,275 mm.

Das Ligamentum mallei anticum und externum wird dabei straff angespannt.

Der lange Ambossschenkel wird ebenfalls fast genau parallel seiner Ruhelage labyrinthwärts gedrängt. Dabei macht der Ambosskörper eine Drehbewegung medialwärts um den Befestigungspunkt des kurzen Schenkels als Achse. Die Gelenkkapsel wird an ihrer oberen medialen Partie sehr straff gespannt. An der lateralen faltet sie sich zusammen. Die Bänderbeanspruchung ist die Folge des Klaffens des Gelenkes am

[1]) A. f. O. 21, p. 91.

medialen oberen Rande, hervorgerufen durch das Auseinanderweichen der Ränder in Folge der eben beschriebenen Ambosskörperkreisbewegung. An dieser Stelle möchte ich noch kurz erwähnen, dass mir zweimal bei einer kräftigeren Feder, die etwa 250 g elastische Belastung erreichen liess, die mediale obere Partie der Gelenkkapsel zerriss. Schon Helmholtz (l. c.) erklärt das Kapselband im Hammerambossgelenk für nicht sehr fest, es zerreisse bei verhältnissmässig geringen Zerrungen der Knochen. Diese beiden Beobachtungen scheinen mir zur Vorsicht zu mahnen bei der Anwendung der neuesten Lucae'schen Drucksonden, bei denen die elastische Druckkraft auf 300 g gesteigert werden kann. Lucae[1]) selbst hat zwar bei Drücken von 300 g keine Verletzung des Hammerambossgelenkes gesehen, demgegenüber scheint mir meine Beobachtung nicht unwichtig zu sein. Selbstverständlich wurde dabei der Rahmen der Führung oder der Boden des Cylinders nicht erreicht, sodass mit Sicherheit ein unelastischer Stoss nicht erfolgte.

Ein Schleifen des Hammerkopfes auf dem Amboss findet bei der Einwärtsbewegung nicht statt. Ebenso konnte ich ein Schleifen des Processus lenticularis auf den Steigbügelköpfen nicht wahrnehmen.

Der Steigbügel wird dabei sehr energisch nach innen gedrängt. Von oben gemessen betrug seine Bewegung zwischen 0,1—0,14 mm bei der oben angegebenen Verschiebung des Hammerkopfes um 0,11 mm und des Manubriumendes um 0,275 mm.

Diese Zahlen geben die Verschiebungen zwischen Ruhelage und grösster Belastung von etwa 60—70 g an. Die Verschiebungen zwischen der Anfangsbelastung von 20 g und der höchsten waren wesentlich kleiner, sie betrugen etwa 20—30 % der angegebenen Maximalausschlagswerthe.

Die stroboskopische Beobachtung schneller Stösse ergab, dass sich bei diesen die Bewegung zwischen Anfangs- und Endbelastung genau so abspielt, wie bei ganz langsamer Bewegung. Die pneumatische Drucksonde ersetzt also die Hand vollkommen.

Meine Untersuchungen ergaben, dass bei der Drucksondenmassage selbst bei mässigen Drucken (60—70 g) Steigbügelexkursionen erzeugt werden, die theilweise grösser sind, als die mit + 120 mm Hg Luftdruck auf das Trommelfell erzeugten. Zunächst liegt darin ein Beweis, eine wie feste Schutzvorrichtung das Gewebe der Radiärfasern des

[1]) Lucae, A. f. O. 51, p. 9.

Trommelfells gegen eine zu weite Einwärtsbewegung des Hammergriffs und damit der der Stapesplatte ist. Dann aber scheint mir, dass die Drucksondenmethode die unter möglichster Umgehung des Trommelfells durch Dehnung des Achsenbandes und Vorschieben des langen Ambossschenkels auf den Steigbügel einwirkt viel leichter zu Labyrinthschädigungen führen kann bei unzweckmässiger Anwendung, als die Pneumomassage. Mein Resultat, dass der Stapes energisch bewegt wird, steht ebenso wie das von Lucae gefundene, in directem Gegensatze zu den von Ostmann gefundenen ganz minimalen Steigbügelbewegungen. Die Erklärung liegt darin, dass Ostmann die durch Anfangsbelastung erzeugte Bewegung der Kette in seinen Curven nicht beachtete. Auf Curve 18 [1]) ist für den Hammerkopf der Einfluss der Anfangsbelastung deutlich zu erkennen. Die von Lucae mitgetheilten Curven, die bei jedesmaligem Auf- und Absetzen der Sonde auf den Processus brevis erhalten wurden, geben ein klares Bild der Ausgiebigkeit der Steigbügelbewegungen.

Die an derselben Stelle mitgetheilte Beobachtung einer grösseren Exkursionsbreite der Kette nach künstlicher Perforation des Trommelfells bestätigt meine Beobachtung, dass das Trommelfell auch bei der Drucksondenmassage straff angespannt wird.

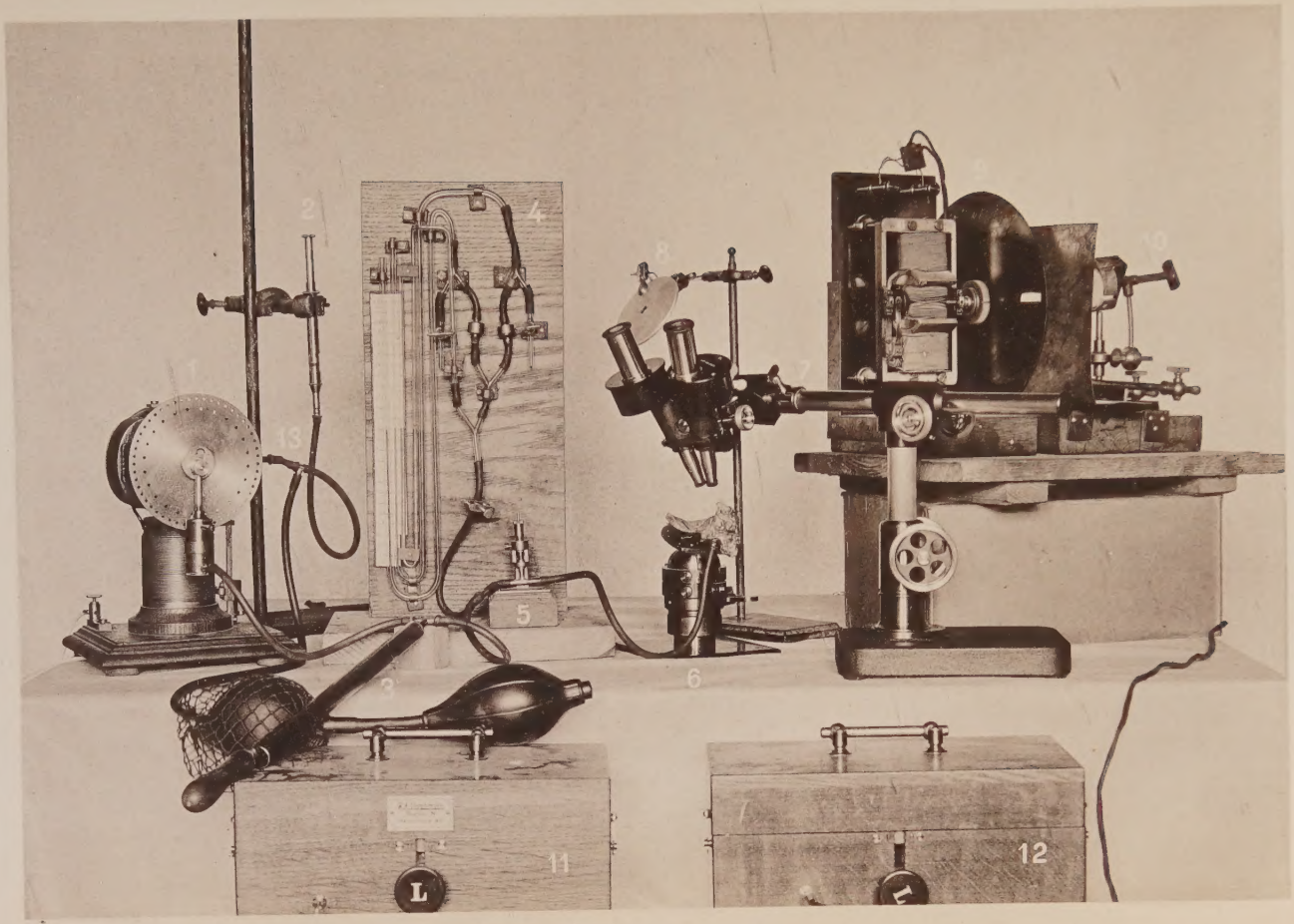
Ueber die zu den Versuchen benutzen Präparate ist noch mitzutheilen, dass ich stets ganz frische Felsenbeine von Erwachsenen benutzte, meist 5—8 Stunden post mortem. Die Präparate liessen sich wiederholt, auch am folgenden Tage und noch länger verwenden, wenn ich sie in einer feuchten Glaskammer aufbewahrte, deren Flüssigkeit eine Spur Formalin zugesetzt war, so dass sie schwach danach roch. Das Trommelfell und die Gelenke wurden vor den Versuchen ganz dünn mit einer Schicht von 10% Formalinglycerin überzogen. Die Präparate wurden nach Eröffnung der Pauke genau mikroskopisch auf abnorme Bewegungshindernisse untersucht. Die mitgetheilten Ausschlagszahlen sind an 9 Präparaten erhalten, die einzelnen Werthe differiren um höchstens 5% untereinander.

1) Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 45, p. 64.

Erklärung der Abbildungen.

1. Massageapparat H mit Sirenenscheibe.
2. Gedackte Pfeife.
   Beide werden durch T-Rohr 13 gemeinsam mit Hülfe des Doppelgebläses zum Ansprechen gebracht.
3. Druckregulator.
4. Manometer.
5. Ventil für negative Phase.
6. Kugelgelenk mit Präparat.
7. Binokular-Beobachtungsmikroskop.
8. Hohlspiegel zur Beleuchtung des Präparats.
9. Unterbrechermotor.
10. Kalklicht.
11. Accumulator für 1.
12. Accumulator für 9.

Druck von Carl Ritter in Wiesbaden.


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
L